УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

приоритет2030^
лидерами становятся

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Материалы
XXVII Международной научно-технической конференции
(г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.)

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Материалы
XXIII Международной научно-технической конференции
(г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.)

Министерство науки и высшего образования РФ
ФБГОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
ФГОБУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики»
ФБГОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ»
ФБГОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
ООО НПП «Авиатрон»
АО НПП «Полигон»
Общество «SPIE» (США)
ПАО «Башинформсвязь» (Уфа, РФ)
ООО ««Газпром Трансгаз Уфа» (Уфа, РФ)
АНОО ВПО «Сколковский институт науки и технологий» (Сколково, РФ)
ООО «Научно-производственный центр «СОТИС» (Москва, РФ)
ООО «Гражданские технологии» (Уфа, РФ)
УМЦ СПб ГУТ (Санкт-Петербург, РФ)
Уральское ПТУС АО «Связьтранснефть» (Уфа, РФ)
ГБПОУ «УКРТБ» (Уфа, РФ)
АО НИИ «Солитон»
АО «Форт Диалог» (Уфа, РФ)
филиал ПАО «МТС» в Республике Башкортостан
АО «Транснефть – Метрология» (Уфа, РФ)
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова» (Санкт-Петербург, РФ)
ПО «ИТ и связь» ООО «Башкирэнерго» (Уфа, РФ)
Университет Манипала
Национальный технологический институт Малавия
Министерство цифрового развития
государственного управления Республики Башкортостан

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Материалы
XXVII Международной научно-технической конференции
(г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.)

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Материалы
XXIII Международной научно-технической конференции
(г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.)

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2025

УДК 621.391
ББК 32.811
П78

Публикуется по решению кафедры телекоммуникационных систем УУНиТ.
Протокол № 4 от 13.11.2025 г.

Редакционная коллегия
д-р техн. наук, профессор **А.Х. Султанов** *(отв. редактор)*;
канд. техн. наук **П.Е. Филатов** *(отв. секретарь)*;
проректор по НР ПГУТИ, г. Самара **О.В. Горячкин**;
профессор КНИТУ-КАИ, г. Казань **А.Ф. Надеев**;
канд. техн. наук **Г.С. Воронков**

П78 **Проблемы техники и технологии телекоммуникаций (ПТиТТ-2025); Оптические технологии в телекоммуникациях (ОТТ-2025):** материалы XXVII и XXIII Международных научно-технических конференций (г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.) / отв. ред. А.Х. Султанов [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2025. – 894 с. **–** URL: https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2025/396.pdf – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6319-7

Представлены материалы XXVII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» и XXIII Международной научно-технической конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях», проводившихся 5–7 ноября 2025 г. в Уфимском университете науки и технологий, г. Уфа, Россия, с целью развития сотрудничества ВУЗов и предприятий отрасли связи, а также специалистов и научных сотрудников. Сохранены традиционные направления, связанные с теорией передачи сигналов, обеспечением информационной безопасности в телекоммуникациях.

Предназначены для студентов, аспирантов, научных сотрудников и специалистов отрасли.

УДК 621.391
ББК 32.811

ISBN 978-5-7477-6319-7 © Уфимский университет, 2025

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Сопредседатели

Захаров В.П.	ректор УУНиТ, г. Уфа
Охоткин К.Г.	ректор КНИТУ-КАИ им. Туполева, г. Казань
Ружников В.А.	ректор ПГУТИ, г. Самара

Заместители председателя оргкомитета

Горячкин О.В.	проректор по НР ПГУТИ, г. Самара
Надеев А.Ф.	профессор КНИТУ-КАИ, г. Казань
Султанов А.Х.	профессор УУНиТ, г. Уфа

Члены оргкомитета

Абилов А.В.	первый проректор-проректор по учебной работе, СПбГУТ, г. Санкт-Петербург
Агеев Г.К.	проректор по инновационной деятельности УУНиТ, г. Уфа
Аглиуллин А.Ф.	директор ООО «МФС», г. Казань
Аллагулов А.Ф.	директор АО «Гражданские технологии», г. Уфа
Антонов В.В.	зав. кафедрой АСУ УУНиТ, г. Уфа
Багманов В.Х.	профессор УУНиТ, г. Уфа
Баекенов И.Д.	технический директор ПАО «Башинформсвязь», г. Уфа
Бикбулатов Ю.В.	ген. директор ООО НПП «Авиатрон», г. Уфа
Билялов А.Р.	начальник УДТ БГМУ, г. Уфа
Буровков В.П.	директор Уральского ПТУС АО «Связьтранснефть», Уфа
Бурдин А.В.	АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург
Бхарти Маниша	профессор национального технологического института г. Дели, Индия
Виноградова И.Л.	профессор УУНиТ, г. Уфа
Воронков Г.С.	и.о. зав. кафедрой ТС УУНиТ, г. Уфа
Габитов И. Р.	почетный член Академии наук Республики Татарстан, г. Казань
Ганшьям Сингх	профессор Национального технологического института Малавия, г. Джайпур, Индия

Галимов Р.Р.	ген. директор БПО «Прогресс», г. Уфа
Григоров И.В.	профессор зав. кафедрой ТОРС, ПГУТИ, г. Самара
Губарева О.Ю.	доцент ПГУТИ, г. Самара
Данилаев Д.П.	зав. кафедрой ЭКСПИ, КНИТУ-КАИ, г. Казань
Дашков М.В.	зав. кафедрой ЛС ПГУТИ, г. Самара
Драчёв В.П.	профессор «Сколковский институт науки и технологий», г. Москва
Дукельский К.В.	ген. директор АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург
Ильин Г.И.	профессор кафедры электронных и квантовых средств передачи информации КНИТУ-КАИ, г. Казань
Коробков А.А.	доцент кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем КНИТУ-КАИ им. Туполева, г. Казань
Казанский Н.Л.	профессор СНИУ им. ак. С.П. Королёва, г. Самара
Картак В.М.	профессор УУНиТ, г. Уфа
Карташевский В.Г.	зав. кафедрой информационной безопасности, ПГУТИ, г. Самара
Кузнецов А.А.	зав. кафедрой РФМТ, КНИТУ-КАИ, г. Казань
Купин М.Н.	ген. директор ООО «НПЦ «Сотис», г. Москва
Кутлуяров Р.В.	доцент УУНиТ, г. Уфа
Лозберг В.Г.	зам. министра ЦРГУ РБ, г. Уфа
Маниш Тивари	профессор Университета Манипала, г. Джайпур, Индия
Махов И.А.	генеральный директор АО НПП «Полигон», г. Уфа
Мешков И.К.	доцент УУНиТ, г. Уфа
Морозов Г.А.	профессор кафедры радиофотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ, г. Казань
Морозов О.Г.	профессор КНИТУ-КАИ, г. Казань
Никитин А. В.	начальник УНИР КНИТУ-КАИ, г. Казань
Нуреев И.И.	профессор, КНИТУ-КАИ, г. Казань
Нуйкин И.В.	директор ГБПОУ «УКРТБ», г. Уфа
Осипов О.В.	зав. кафедрой ВМ ПГУТИ, г. Самара
Полетаев К.В.	ген. директор АО «Форт Диалог», г. Уфа

Раевский А.С.	зав. кафедрой физики и техники оптической связи, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
Сахабутдинов А.Ж.	профессор КНИТУ-КАИ, г. Казань
Тимофеев А.Л.	доцент УУНиТ, г. Уфа
Тлявлин А.З.	доцент УУНиТ, г. Уфа
Топольская Е.П.	доцент УУНиТ, г. Уфа
Уразбахтина Ю.О.	директор института электротехнического инжиниринга УУНиТ, г. Уфа
Филатов П.Е.	технический секретарь, УУНиТ, г. Уфа
Хаматвалиев Р.В.	зам. ген. директора АО «Центр ИКТ РБ», г. Уфа
Хомский В.Н.	гл. конструктор АО НПП «Полигон», г. Уфа
Чащевой В.В.	зам. директора ПО «ИТ и связь» ООО «Башкирэнерго», г. Уфа
Шипулин А.В.	руководитель лаборатории интегральной фотоники, Сколтех, г. Москва
Шарафуллин И.Ф.	проректор по научной работе, УУНиТ, г. Уфа
Шаблюк О.П.	техн. директор УМЦ СПбГУТ, г. Санкт-Петербург
Якубов Т.Я.	председатель совета директоров АО НПП «Полигон», г. Уфа

ПРЕДИСЛОВИЕ

Публикуются материалы XXVII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» и XXIII Международной научно-технической конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях», проводившихся 5–7 ноября 2025 г. в Уфимском университете науки и технологий, г. Уфа, Россия.

В рамках этих конференций проводится обзор передовых технологий в области телекоммуникаций таких как:

- фотоника;
- освоение терагерцового диапазона в телекоммуникациях;
- инфокоммуникационные и сетевые технологии;
- пассивные и активные оптические компоненты волоконно-оптических линий связи и информационно-измерительных систем;
- в области разработки, производства средств телекоммуникаций, а также их эксплуатации;
- обработка и передача сигналов в космических системах различного назначения;
- дистанционные методы управления, обучения, охраны здоровья и окружающей среды, в том числе и разработки в области IoT.

Кроме того, учитывая интересы специалистов по телекоммуникациям, в программе конференции сохранены традиционные направления, связанные с теорией передачи сигналов, обеспечением информационной безопасности в телекоммуникациях.

Оргкомитет высказывает надежду, что настоящая конференция будет полезна специалистам, научным работникам, работающим в области телекоммуникаций и смежных областях.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.383

РАЗВИТИЕ СЕНСОРИКИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ

Мисбахов Рус.Ш.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Введение

В современных условиях стремительного развития информационных технологий и цифровизации электроэнергетических систем появляется возможность существенно усовершенствовать системы их автоматического контроля и управления (САКУ). Необходимо отметить, что самое широкое применение в практике электроэнергетических сетей находят сети среднего напряжения. Они и являются объектом наиболее массового внедрения САКУ, поскольку охватывают наибольший объем конечных потребителей.

Как отмечается в энергетической стратегии России до 2035 года, приоритетным направлением развития отрасли становится внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики оборудования. Эта стратегия продолжает и развивает положения Стратегии-2020, определяя ключевые направления инновационного развития топливно-энергетического комплекса.

Основные направления развития

Основные направления развития включают:

- создание интеллектуальных распределительных сетей нового поколения (Smart Grids);
- формирование надёжных каналов связи между уровнями диспетчерского управления;
- внедрение систем удалённой диагностики электросетевого оборудования.

Цели внедрения систем мониторинга:

- оперативное принятие решений для предотвращения развития аварийных ситуаций;
- минимизация влияния человеческого фактора;
- точный контроль и локализация дефектов оборудования;
- оценка ресурса и нагрузочной способности оборудования;
- ведение архива диагностической информации;
- автоматизация процесса принятия решений о техническом обслуживании;
- мониторинг состояния сетевой инфраструктуры.

Концепция интеллектуальных энергетических систем

Традиционные методы управления энергетическими потоками в современных условиях становятся недостаточно эффективными, что подтверждается частыми системными авариями. Это привело к разработке

концепции «умных» энергосетей (Smart Grids), отражающей основную тенденцию развития современных производственных систем.

Рис. 1. Структурная схема, представляющая концепцию «Smart Grids»

Интеллектуальные энергетические системы (ИЭС) представляют собой интегрированную структуру с единой сетевой инфраструктурой, объединяющей все источники генерации и потребителей энергии на региональном или национальном уровне.

Технологические инновации

Новая концепция Smart Grids Plus включает диагностический мониторинг на базе волоконно-оптических сенсорных сетей.

Рис. 2. Структурная схема, представляющая новые концепцию «Smart Grids Plus» и средства диагностического мониторинга

Для современных каналов волоконно-оптической связи используются технологии временного и волнового уплотнения (TWDM).

Для диагностического мониторинга, единого с ними по физическому слою, – волоконно-оптические датчики с радиофотонной адресной системой опроса.

Дальнейшие исследования направлены на совершенствование технологий повышения точности измерений и простоты мультиплексирования (устранения коллизий совпадений типа «ложный адрес»), что позволит создать более совершенные системы управления энергетическими потоками [1].

2015-2020 гг. На основе комплексного метода матриц переноса и связи направленных мод была построена математическая модель для определения спектрального профиля ВБР с двумя дискретными симметричными фазовыми π-сдвигами и параметров адресных 2π-АВБС-структур на их основе [2, 3]. На основе исследования модели была определена возможность подбора параметров адресных 2π-АВБС-структур, что позволило сформировать её спектральный профиль таким образом, чтобы указанная структура могла быть использована в качестве чувствительного элемента сенсора и обеспечить требуемый диапазон линейных перемещений в оптическом диапазоне, а также поддерживать требуемые частоты разноса между дискретными симметричными фазовыми сдвигами в радиочастотном диапазоне в качестве адреса [2].

Кроме того, на основе метода обратного преобразования Фурье была построена математическая модель профиля показателя преломления оптического волокна для формирования адресной 2λ-АВБС-структуры с двумя идентичными спектральными откликами ВБР на разнесённых длинах волн [2, 4]. В качестве исходных параметров для построения модели задавались требуемый спектральный профиль адресной 2λ-АВБС-структуры, включающий коэффициент отражения и ширину полосы пропускания её решёток, а также величина радиочастотного разноса между ними в качестве адресов.

Проведён анализ методов формирования и записи таких АВБС [3-4]. Для реализации данных структур, включая фазовые сдвиги, была выбрана технология с использованием ультрафиолетового аргонового лазера, классических фазовых масок с последовательной записью нескольких решёток с точным перемещением и натяжением волокна.

Таким образом, АВБС как компоненты онтологии нижнего уровня можно разделить на два класса. При определённом подключении АВБС обоих классов к широкополосному оптическому источнику формируется её выходное излучение, состоящее из двух узкополосных частот, разность между которыми называется адресной частотой и относится к микроволновому диапазону (ГГц). Адресная частота не зависит от смещения центральной длины волны АВБС при её внешнем воздействии. Поэтому адресная частота используется как отличительный параметр, позволяющий опрашивать несколько АФБС, даже если их центральные длины волн совпадают. Таким образом, адресная частота является основным атрибутом АВБС [2-4].

2015-2020 гг. Впоследствии понятие АВБС было расширено и теперь включает структуры с тремя (ТАВБС) и более спектральными компонентами, формирующими две и более адресных частот, называемые многоадресными волоконными брэгговскими структурами (МАВБС). Увеличение числа адресных частот повышает точность определения центральной длины волны, а также расширяет сенсорные возможности системы.

На следующих уровнях онтологии рассматриваются ТАВБС с максимум тремя спектральными компонентами. Аналогичным образом можно классифицировать МАВБС с четырьмя и более компонентами. Были предложены два подхода к формированию МАВБС: введение двух и более фазовых π-сдвигов в периодическую структуру ВБР (Nπ-МАВБС, где N — количество фазовых сдвигов) и последовательная запись нескольких сверхузкополосных ВБР с различными центральными длинами волн (Nλ-МАВБС). Для первого типа для опроса используется прошедшее излучение, для второго — отраженный свет. Таким образом, отражающие и пропускающие MAFBS составляют классификацию нового, более развитого уровня Nπ-MAFBS и Nλ-MAFBS [2, 6-7].

Вторая классификация онтологии слоя АВБС синтезирована по признаку нового уровня – количеству адресов: одноадресная – двухкомпонентная АВБС; двухадресная – симметричная трёхкомпонентная ТАВБС с боковыми адресными компонентами, разнесёнными на одну адресную частоту от центрального адресного компонента; трёхадресная – асимметричная трёхкомпонентная ТАВБС с боковыми адресными компонентами, разнесёнными на разные адресные частоты от центрального адресного компонента [7].

Дуальность ДАВБС и ТАВБС

Дуальность ДАВБС и ТАВБС выражается также в том, что первые конструктивно проще, чем вторые, а вторые позволяют исключить коллизии ложных адресных частот, свойственные первым. Поэтому одной из главных задач данного доклада является презентация преимуществ новых типов АВБС, обладающих преимуществами обоих описанных типов структур и являющихся по типу ДАВБС, состоящих из двух волновых компонент в вариантах с одной, двумя или без фазовых сдвигов в структуре, но характеризирующийся по функциональным реализациям преимуществами ТАВБС [8] – ДАВБС комбинированного типа, которые позволили определить новые пути развития интеллектуальных систем энергетики.

Заключение

Развитие ДАВБС комбинированного типа открывает новые возможности для создания эффективных систем мониторинга и управления энергетическими объектами, что способствует повышению надёжности и эффективности работы энергосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мисбахов Рин. Ш., Мисбахов Рус. Ш., Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж. Трехкомпонентные адресные волоконные брэгговские структуры в решении задач интеллектуальной энергетики / под ред. О.Г Морозова и А.Ж. Сахабутдинова. Казань. Изд-во КНИТУ-КАИ. 2026. 320 с. (в печати)

2. Аглиуллин Т.А., Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Мисбахов Р.Ш., Мисбахов Р.Ш., Кузнецов А.А., Артемьев В.И. Онтология адресных волоконных брэгговских структур как новых датчиков радиофотонных многосенсорных сетей / Актуальные проблемы радиофизики АПР-2023.

Сборник трудов X Международной научно-практической конференции. Томск, 2023. С. 309-310.

3. Morozov, O.G., Sakhabutdinov, A.Z., Nureev, I.I., Misbakhov, R.S. Modelling and record technologies of address fiber Bragg structures based on gratings with two symmetrical pi-phase shifts // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V. 1368. P. 022048.

4. Morozov, O.G., Sakhabutdinov, A.Z., Nureev, I.I., Misbakhov, R.S. Modelling and record technologies of address fiber Bragg structures based on two identical ultra-narrow gratings with different central wavelengths // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V. 1368. P. 022049.

5. Morozov, O., Sakhabutdinov, A., Anfinogentov, V., Misbakhov, R., Kuznetsov, A., Agliullin, T. Multi-addressed fiber Bragg structures for microwave photonic sensor systems // Sensors. 2020. V. 20. P. 2693.

6. Morozov O.G., Sakhabutdinov A.Z., Agliullin T.A., Nureev I.I., Kuznetsov A.A., Misbakhov R.S., Misbakhov R.S., Il'in G.I., Morozov G.A. Addressed fiber bragg structures ontology // Proc. SPIE. 2023. V. 12743. P. 127430B.

7. Agliullin, T., Il'In, G., Kuznetsov, A., Misbakhov, R., Misbakhov, R., Morozov, G., Morozov, O., Nureev, I., Sakhabutdinov, A. Overview of addressed fiber Bragg structures' development // Photonics. 2023. V. 10. P. 175.

8. Мисбахов Р.Ш., Артемьев В.И., Морозов О.Г., Куликов Е.В., Иваненко В.А., Нигматуллин С.Н., Ибрагимов Л.Д. Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 2 (62). С. 57-73.

DEVELOPMENT OF TWO-COMPONENT ADDRESSABLE COMBINED FIBER BRAGG STRUCTURES SENSORICS AND SMART GRID SYSTEMS BASED ON THEM

Misbakhov Rus. Sh.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. One of the main objectives of this report is to present the advantages of two-component addressable combined fiber Bragg structures sensorics, which have the advantages of described types of structures – two wave components with one, two or no phase shifts in, which made it possible to identify new paths for the development of smart grid systems.

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СЕМАНТИКО - АССОЦИАТИВНОГО АНАЛИЗА

Захарова О.И.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В статье представлена концепция семантико-ассоциативного анализа текстовых данных (САТД) – интегрированный подход к глубокой обработке и интерпретации текстовой информации, сочетающий методы семантического анализа и ассоциативного моделирования. Описана модульная архитектура интеллектуальной системы, включающая семантический и ассоциативный анализаторы, граф знаний на основе Neo4j, модуль классификации, компонент контекстуальной персонализации и средства визуализации. Подчеркивается роль гибридного распределённого хранилища данных (PostgreSQL, MongoDB, Neo4j, Redis), обеспечивающего эффективную работу с разнородными типами информации. Предложенный подход позволяет не только извлекать смысл и выявлять скрытые связи в текстах, но и формировать когнитивно-ориентированные выводы, адаптированные к контексту и потребностям пользователя, что делает его перспективным инструментом для анализа открытых источников в различных прикладных областях.

Рассматривая алгоритмы обработки текстовой информации, необходимо учитывать, что важнейшим решением, используемым для семантического анализа данных, является процесс, заключающийся в извлечении семантической информации, содержащейся в этих наборах. Чтобы сделать этот процесс исполнимым, необходимо связать его с процессами, протекающими в сознании человека, потому что именно там происходит наиболее полный анализ данных.

В любой языковой системе алгоритм семантического анализа предполагает наличие большого объема ранее существовавшего кода для управления памятью, обработки характерных особенностей, динамического принятия решений и т.п. Более сложный язык также может потребовать событий, потоков и сообщений. Когда библиотеки, реализующие эти функции, зависят от структуры работающей программы, говорят, что они составляют систему времени выполнения.

При этом, классический процесс анализа текстовых данных очень часто осуществляется в ситуациях, когда анализируемые множества описываются простыми словами. В такой ситуации ожидаемая информация состоит только в простой характеристике анализируемых данных. Однако такой способ анализа данных не всегда достаточен. Это связано с тем, что мы часто ожидаем, что процесс анализа даст «некоторое указание», решение, которое позволит нам в полной мере использовать проанализированные наборы данных. Вот почему процесс анализа данных может быть дополнен процессом когнитивного анализа. Этот второй процесс состоит в выделении согласованных и

несогласованных пар в результате генерирования наборов признаков, характерных для анализируемого набора. Кроме того, при выполнении этого процесса ожидания относительно анализируемых данных формируются на основе экспертной базы знаний, собранной в системе. В результате сравнения пар признак-ожидание возникает когнитивный резонанс, который заключается в выявлении согласованных пар и несогласованных пар, значимых в текущем процессе анализа. В когнитивном анализе согласованные пары используются для понимания значения анализируемых наборов данных.

Семантический анализ в рамках концепции семантико – ассоциативного анализа текстовых данных (САТД) направлен на выявление смысла слов, предложений и текстов с учетом их контекста. Анализ производится с помощью методов обработки естественного языка (NLP), включая распознавание сущностей, анализ тональности и определение семантических связей [1, 2].

Ассоциативный анализ ищет скрытые связи между понятиями и объектами в тексте, помогая построить ассоциативные карты и графы. Эти связи позволяют выявлять темы, концепты и ключевые термины, которые часто ассоциируются друг с другом.

Предлагаемая система построена как набор интегрируемых модулей, каждый из которых выполняет специфическую задачу (сбор данных, обработка, хранение и визуализация) [3, 4, 5].

Модульная архитектура позволяет легко масштабировать систему, добавляя или обновляя компоненты по мере необходимости. Такие компоненты, как MongoDB, PostgreSQL, Neo4J, Redis и Prometheus, играют специфические роли в работе системы, поддерживая её гибкость и адаптивность.

Гибридное и распределенное хранилище данных

Хранение данных осуществляется в нескольких специализированных базах данных (PostgreSQL для структурированных данных, MongoDB для неструктурированных документов, Neo4J для графов).

Гибридное хранение позволяет использовать оптимальные инструменты для различных типов данных.

Преимущества САТД

Теория семантико-ассоциативной обработки текстовых данных предлагает гибкие подходы для автоматизации и эффективного управления данными из открытых источников. Она предоставляет возможности для:

– Интеграции данных из разнообразных источников и их организации в удобной для анализа форме.

– Автоматического анализа и выявления скрытых паттернов и ассоциаций в текстах.

– Персонализированного и контекстуального подхода к предоставлению данных, что повышает ценность аналитической информации для конечных пользователей.

Разработка интеллектуальной системы обработки текстовых данных

Эти положения создают основу для построения комплексной и интеллектуальной системы обработки текстовых данных [6, 7], способной

анализировать и интерпретировать информацию на более глубоком уровне, интегрируя методы семантического анализа и ассоциативных связей (рис. 1).

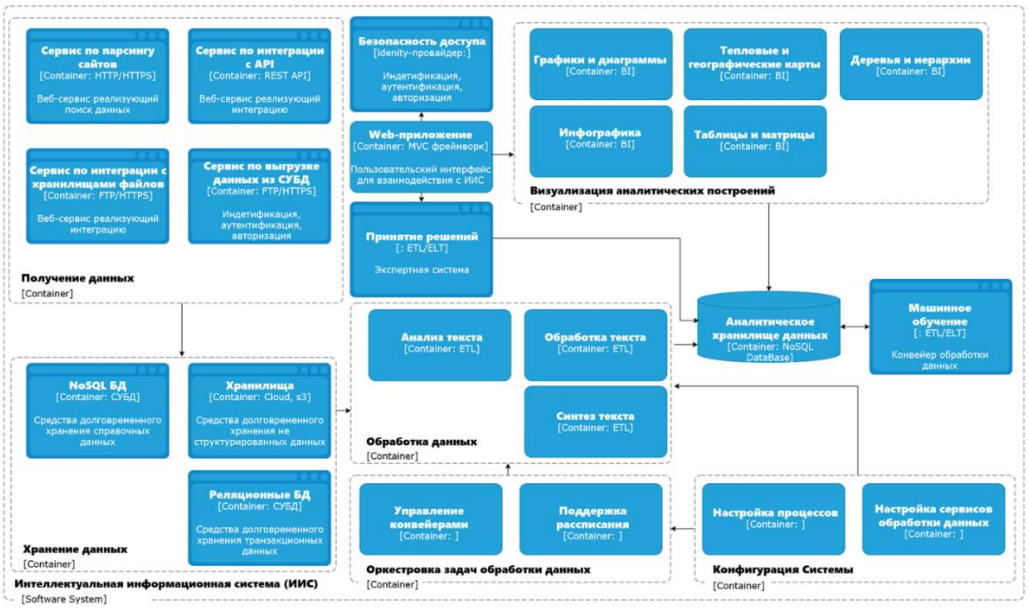


Рис. 1. Диаграмма модели «C4» - Container

Основные компоненты модели

1. Семантический анализатор

Задача: обработка текстов и выделение ключевых сущностей, понятий, тематических категорий и семантических связей.

Инструменты: NLP-библиотеки (SpaCy, Transformers), предобученные языковые модели (BERT, GPT).

Ввод: текстовые данные из различных источников (сайты, блоги, форумы, соцсети и т.д.).

Вывод: сущности, темы, тональность, ключевые слова и фразы.

2. Ассоциативный анализатор

Задача: выявление ассоциаций между сущностями и понятиями, формирование графов ассоциативных связей и понятийных карт.

Инструменты: Neo4J (для построения графа знаний), специализированные алгоритмы анализа ассоциативных связей (Apriori для нахождения частых паттернов).

Ввод: данные семантического анализа.

Вывод: граф ассоциаций между сущностями, который может включать в себя такие параметры, как степень связи, тип связи, частотность.

3. База знаний (граф знаний)

Задача: централизованное хранение и организация связей между понятиями, сущностями, темами и категориями.

Инструменты: Neo4J.

Ввод: результаты ассоциативного и семантического анализа.

Вывод: динамически обновляемая база знаний, обеспечивающая быстрый доступ к данным и взаимосвязям.

4. Модуль обработки и классификации данных

Задача: систематизация текстов по категориям и их классификация на основе семантического контекста.

Инструменты: ML-алгоритмы для классификации текстов (Random Forest, SVM, LSTM), а также классификационные модели на базе нейронных сетей.

Ввод: текстовые данные, обработанные семантическим анализатором.

Вывод: классифицированные данные с метками категорий и тем, что позволяет быстрее находить релевантные данные.

5. Контекстуальная фильтрация и персонализация

Задача: предоставление информации на основе пользовательского запроса с учетом истории взаимодействий и контекста.

Инструменты: системы рекомендаций (на базе Collaborative Filtering), LLM для диалогового взаимодействия.

Ввод: пользовательские запросы и предыдущие результаты взаимодействия.

Вывод: персонализированные результаты поиска и фильтрации.

6. Интерфейс визуализации и аналитики

Задача: представление результатов в удобном для восприятия виде.

Инструменты: Grafana и Kibana для построения дашбордов, Streamlit для создания пользовательских интерфейсов.

Ввод: данные из графа знаний, базы данных, метрик и логов.

Вывод: визуальные дашборды, которые позволяют отслеживать ассоциативные связи, динамику тем и частоту упоминаний.

Заключение

Таким образом, предложенная концепция семантико-ассоциативного анализа текстовых данных (САТД) представляет собой целостный подход к глубокой интерпретации информации, объединяющий методы семантического анализа и ассоциативного моделирования. Благодаря интеграции современных NLP-технологий, графовых баз данных и машинного обучения система способна не только извлекать смысл из текстов, но и выявлять скрытые связи между понятиями, формируя динамическую и контекстно-зависимую картину знаний. Модульная архитектура и гибридное хранилище данных обеспечивают масштабируемость, адаптивность и эффективность обработки как структурированной, так и неструктурированной информации из разнообразных источников.

Реализация такой интеллектуальной системы открывает широкие возможности для прикладного использования – от анализа общественного мнения и мониторинга медиапространства до поддержки принятия решений в бизнесе и науке. Ключевым преимуществом САТД является способность не просто обрабатывать данные, а имитировать когнитивные процессы: сопоставлять информацию с ожиданиями, выявлять согласованности и противоречия, а также адаптировать результаты под индивидуальные потребности пользователя. Это делает подход особенно перспективным в

условиях растущего объёма текстовой информации и возрастающих требований к её осмыслению и интерпретации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захарова О.И. Разработка модели семантического анализа и синтеза текстовых данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 4. С. 49-57.

2. Захарова О.И. Семантический анализ и синтез текстовых данных // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 4. С. 182-208.

3. Смирнов И.В. Оптимизация компонентной базы систем обработки текстов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2023. – №3. – С. 89-102. – eLibrary ID: 49345678. – DOI: 10.14357/20718594230308.

4. Кузнецов С.Д. Модульная архитектура систем обработки естественного языка // Системы и средства информатики. – 2024. – №1. – С. 12-25. – eLibrary ID: 50123456. – DOI: 10.28995/2079-8156-2024-1.

5. Котов А.П. Модели и методы оценки вычислительных затрат при обработке текстов различной сложности. // Вестник системного анализа и управления. – 2016. – №3. – С. 72–80.

6. Кузнецов С.Д. Ограничения оптимизации параметров в текстовых процессорах. // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. – 2017. – №2. – С. 33–41.

7. Лысенко, И.В. Анализ и синтез сложных технических систем / И.В. Лысенко, 1995. – 263 с.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TEXT DATA PROCESSING SYSTEM BASED ON THE CONCEPT OF SEMANTIC-ASSOCIATIVE ANALYSIS

Zakharova O.I.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. The article presents the concept of semantic-associative text data analysis (SAATD), an integrated approach to deep processing and interpretation of textual information, combining methods of semantic analysis and associative modeling. The modular architecture of the intelligent system is described, including semantic and associative analyzers, a knowledge graph based on Neo4j, a classification module, a component of contextual personalization and visualization tools. The role of a hybrid distributed data warehouse (PostgreSQL, MongoDB, Neo4j, Redis) is emphasized, providing efficient work with heterogeneous types of information. The proposed approach allows not only to extract meaning and identify hidden connections in texts, but also to form cognitively oriented conclusions adapted to the context and user needs, which makes it a promising tool for analyzing open sources in various applied fields.

УДК 621.396.49

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОГО ПРИЁМА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО СИГНАЛАМ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ, РАБОТАЮЩИХ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ

Козлов С.В., Кузнецов А.С.

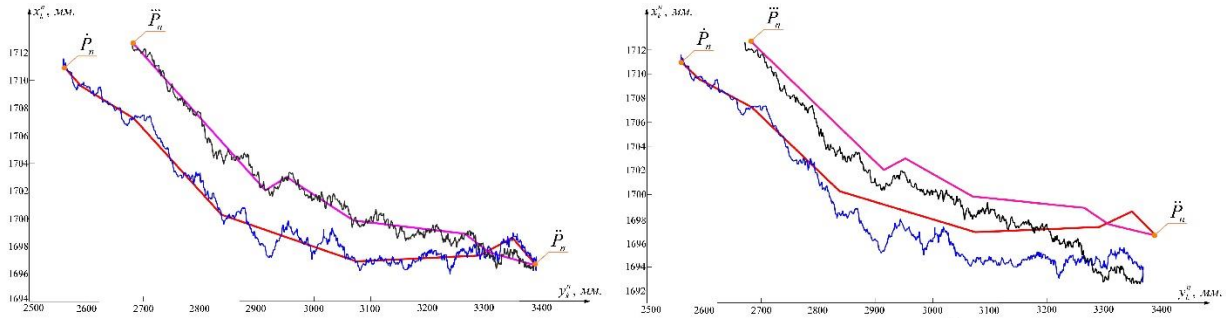
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В настоящее время в большинстве работ, посвящённых совместному приёму сигналов систем связи с подвижными объектами (ССПО), основное внимание сводится к подавлению различных искажений сигналов, возникающих на входе приёмных устройств, однако причины этих искажений и их связь со свойствами среды и движением объектов не анализируются в должной мере. Вариантом комплексного описания информации о передаваемых сигналах является применение концепции информационного поля (ИП).

Используя принципы концепции информационного поля, появляется возможность решения широкого круга задач радиосистем на базе единой системы. При решении этих задач помимо совместного приёма сигналов систем необходимо осуществлять и позиционирование устройств сети с высокой точностью. Поскольку сигналы спутниковых радионавигационных систем – по которым, зачастую, и осуществляется точное позиционирование, в связи с рядом причин могут быть сильно искажены или вовсе отсутствовать, то решение задачи совместного приёма и позиционирования только по сигналам ССПО является актуальной.

При решении этих задач для исследования параметров сигналов систем, работающих в ИП, разработан стенд для исследования сигналов. На базе вероятностной мультимарково-полигауссовой (ММ-ПГ) модели [1] разработан метод оценки параметров сигналов, метод оценки навигационных параметров только по сигналам ССПО и алгоритм, реализующий разработанные методы.

Для оценки эффективности разработанного алгоритма был проведён эксперимент на базе разработанного тестового стенда, работающего в ультразвуковом диапазоне [2]. При проведении эксперимента объект равномерно перемещался равномерно между точками $\dot{P}^n$, $\ddot{P}^n$, $\dddot{P}^n$, сравнивалась достоверность оценок и среднее значение среднеквадратического отклонения оценок координат для разработанного алгоритма, использующего принципы концепции информационного поля, с применением ММ-ПГ модели и алгоритма, использующего фильтр Винера. С целью анализа и интерпретации полученных экспериментальных данных, рассмотрены оценки траектории движения объекта (Рис. 1) и прочие оценки.



а б

Рис. 1. Оценка траектории (синим) и истинная траектория (красным) при движении между точками $\dot{P}^n$, $\ddot{P}^n$ и оценка траектории (чёрным) и истинная траектория (розовым) при движении между точками $\ddot{P}^n$, $\dddot{P}^n$ в случае применения алгоритма, использующего принципы концепции информационного поля, с применением ММ-ПГ модели (а), и в случае применения алгоритма, использующего фильтр Винера (б)

Оценка эффективности разработанного алгоритма экспериментальным методом показала, что применение мультимарково-полигауссовой модели и принципов концепции информационного поля позволяет снизить средний квадрат отклонения оценок координат более чем в 10 раз и более чем в 3 раза повысить точность оценивания сигнальных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, С. В. Новые смесевые подходы к проектированию радиоинтерфейса систем связи / С. В. Козлов. – Казань: ООО "Новое знание", 2014. – 132 с. – ISBN 978-5-906668-26-4.

2. Кузнецов, А. С. Исследование эффективности алгоритма совместного приёма сигналов и оценки навигационных параметров для систем связи с подвижными объектами, функционирующих в информационном поле / А. С. Кузнецов // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2025. – Т. 5, № 2. – С. 20-28.

DEVELOPMENT OF METHODS AND ALGORITHM FOR JOINT RECEPTION AND POSITIONING BASED ON SIGNALS FROM MOBILE OBJECT COMMUNICATION SYSTEMS OPERATING IN THE INFORMATION FIELD

Kozlov S.V., Kuznetsov A.S.

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. The paper considers the development of an algorithm for the joint reception of signals and estimation of navigation parameters for communication systems with mobile objects operating in the information field based on a multimark-poly-Gaussian model. By computer modeling and experiment, the results of comparing the reliability of the obtained estimates of the quadrature of the signals and the standard deviation of the estimates of the coordinates of the developed algorithm and the monogausal Wiener filtering algorithm were obtained.

УДК 621.391

ОДНОИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

[1]Тимофеев А.Л., [1]Султанов А.Х., [2]Аллагулов А.Ф., [1]Мешков И.К., [1]Гизатулин А.Р.

([1]Уфимский университет науки и технологий, [2]АО Гражданские технологии)

Передача информации в общем случае существует двух видов – в пространстве и во времени. В пространстве информация передается с помощью материального носителя, которым чаще всего выступает электромагнитная волна. Информация соединяется с носителем путем модуляции либо непрерывной несущей гармоники, либо импульсной последовательности. Очевидно, что для распространения носителя в пространстве необходимы затраты энергии. Передача информации во времени (хранение) во многих случаях осуществляется без энергетических затрат (энергонезависимая память, библиотеки и др.).

Представляет интерес рассмотрение возможности передачи информации в пространстве с использованием принципов передачи во времени для снижения энергозатрат в процессе передачи.

Рассмотрим два объекта в пространстве, один из которых – передатчик информации, другой – приемник, синхронизированные друг с другом (имеющие внутренние генераторы с одинаковой тактовой частотой). В начальный момент времени в передатчике запускается таймер, формирующий интервал времени, длительность которого задается подлежащим передаче цифровым блоком, поступившим от источника информации. Одновременно в приемнике запускается счетчик времени, отсчитывающий время с нуля. По каналу связи между передатчиком и приемником в это время ничего не передается. По достижению таймером заданного значения передатчик останавливает счет и излучает короткий стоп-импульс, несущий один бит информации. Приемник, получив этот импульс, тоже останавливает счет времени, фиксирует значение счетчика и передает значение длительности измеренного интервала времени получателю информации. Единственный передаваемый по каналу связи стоп-импульс выполняет также функцию синхронизации передатчика и приемника – с момента его формирования начинается интервал передачи следующего блока информации.

Таким образом, используя передачу в пространстве только одного импульса предельно малой длительности, переносящего один бит информации, осуществляется передача цифрового информационного блока произвольной величины без излучения энергии в пространство. Этим решаются вопросы энергоэффективности и дефицита частот.

Максимальное количество информации, содержащееся в передаваемом цифровом блоке, определяется числом разрядов счетчиков в передатчике и приемнике, а скорость передачи – тактовой частотой в этих счетчиках. Тактовая частота, в свою очередь, никак не зависит от канала связи, а определяется только быстродействием используемых счетчиков. Данный способ передачи

информации можно назвать одноимпульсной модуляцией (SPM – single pulse modulation).

Для организации информационного обмена в радиоэлектронных комплексах и системах применяются сигналы, в которых для повышения скрытности работы и помехоустойчивости приема сигналов применяются различные методы модуляции и кодирования данных, среди которых все большее распространение получают системы связи на основе сверхширокополосной импульсной радиосвязи [1,2]. SPM можно отнести к этому виду связи.

Способы применения одноимпульсной модуляции:

среднее время занятия канала связи при передаче информации составит около 1%. Возможное применение – автономные передатчики с батарейным питанием, используемые в интернете вещей, и передача информации в дальнем космосе при ограниченной энергетике.

многоканальная передача – мультиплексирование с временным разделением. Если блоки информации по каналу связи передаются, оставляя физический канал свободным в течение 99% времени, этот канал можно использовать для организации параллельной работы нескольких логических каналов, образуя мультиплексирование с одноимпульсной модуляцией (SPM/M).

множественный доступ. Метод SPM/M позволяет организовать множественный доступ к среде передачи – сеть независимых передатчиков, работающих на одной частоте. Каждый передатчик имеет собственный стоп-импульс, несущий номер передатчика. При небольшом числе передатчиков вероятность коллизии (наложения стоп-импульсов) будет небольшой, и возникающие ошибки могут устраняться повторной передачей. Вариант применения – построение сети мобильной связи с гигабитовыми скоростями, использующей одну частоту.

волоконно-оптические линии связи. Дисперсия является одним из самых важных факторов, влияющих на параметры волоконно-оптических систем передачи. Поскольку дисперсия пропорциональна длине волокна, она ограничивает дальность передачи информации по волоконно-оптическим линиям связи. При использовании модуляции SPM/M допустима гораздо большая дисперсия, так как между редкими стоп-импульсами межсимвольная интерференция не возникает, и это позволит существенно увеличить дальность передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипенский Р.В., Антипенский Е.Р., Ерзин И.Х. Способ нелинейной модуляции паузы между импульсами в сверхширокополосных сигналах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. 2021. №. 1. С. 16-26.

2. Антипенский Р.В., Змий Б.Ф., Любавский А.П. Способ формирования помехоустойчивых сверхширокополосных сигналов. 2018.

SINGLE-PULSE MODULATION AND METHODS OF ITS APPLICATION

Timofeev A.L.[1], Sultanov A.Kh.[1], Allagulov A.F.[2], Meshkov I.K.1, Gizatulin A.R.[1]
([1]Ufa University of Science and Technologyб, [2]JSC Civil Technologies)

In single-pulse modulation, the transmitter and receiver are synchronized with each other (they have internal generators with the same clock frequency). At the initial moment of time, a timer is started in the transmitter, forming a time interval, the duration of which is set by the digital block to be transmitted, received from the information source. At the same time, a time counter is started in the receiver, counting down the time from zero. Nothing is transmitted over the communication channel between the transmitter and receiver at this time. When the timer reaches the specified value, the transmitter stops counting and emits a short stop pulse, carrying one bit of information. The receiver, having received this pulse, also stops counting time, records the counter value and transmits the value of the duration of the formed interval to the recipient of the information. The only stop pulse transmitted over the communication channel also performs the function of synchronizing the transmitter and receiver - from the moment it is formed, the interval for transmitting the next block of information begins. Thus, using the transmission in space of only one pulse of extremely short duration, carrying one bit of information, the transmission of a digital information block of arbitrary size is carried out without emitting energy into space. This solves the issues of energy efficiency and frequency deficit.

УДК 004.77

ТЕХНОЛОГИИ IoT В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Теляубаев Т.Ю., Барбак С.В.
(ООО «НПП «АВИАТРОН»)

Технологии Интернета вещей (IoT – Internet of Things) в сетях передачи данных систем телемеханики объектов нефтедобычи играют важную роль в обеспечении мониторинга, автоматизации и управлении эксплуатируемым оборудованием. Основными технологиями IoT в системах телемеханики являются:

– беспроводные технологии связи;
– протоколы передачи данных;
– обработка и аналитика данных;
– безопасность.

Беспроводные технологии связи LPWAN (Low Power Wide Area Network), такие как LoRaWAN, 6LoWPAN, NB-IoT, Sigfox и др., используются для передачи данных на большие расстояния с маломощными приёмопередатчиками, что важно для удалённых и труднодоступных объектов.

В данном докладе мы остановимся на опыте разработки и применения беспроводных технологий 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) на основе стандарта радиосети IEEE 802.15.4. 6LoWPAN представляет собой протокол сжатия и адаптации IPv6 пакетов по маломощным беспроводным сетям с ограниченными ресурсами.

Почему 6LoWPAN так важен в IoT?

– совместимость с интернетом: позволяет интегрировать устройства передачи данных в сеть интернет;
– унификация протоколов: вместо различных протоколов устройства используют стандарт IPv6, что упрощает управление и интеграцию;
– поддержка масштабируемости: благодаря IPv6, к одной сети можно подключать большое количество устройств.

Архитектура 6LoWPAN-сети стандарта IEEE 802.15.4 представляет собой ячеистую (mesh) 6LoWPAN-сеть. Восходящий канал к Ethernet обеспечивает edge router, действующей как граничный маршрутизатор IPv6, который выполняет три действия: обмен данными между устройствами 6LoWPAN и сетью Ethernet (или другой IPv6-сетью), локальный обмен данными между устройствами в 6LoWPAN-сети, формирование и обслуживание радиоподсети (6LoWPAN-сети). Обеспечение связи с другими IP-сетями может быть предоставлено через любой произвольный IP канал, такой как Ethernet, Wi-Fi или 3G/4G. Поскольку граничные маршрутизаторы отправляют датаграммы на сетевом уровне, они не поддерживают состояния прикладного уровня. Беспроводные сети с иной архитектурой, такие как ZigBee®, Wireless HART и др., требуют, чтобы шлюзы исполняли сложные прикладные программы,

которые позволяют преобразовать специфичный трафик беспроводной сети перед отправкой данных в стандартный IP-канал.

Возможные альтернативные решения являются либо проприетарными («Невод», «Смарт»), либо стандартными, но ориентированными на специальные приложения (LoRaWAN, SigFox, ZigBee, «Стриж»).

Стандартное решение предоставляет потребителю больше возможностей при выборе оборудования на всех стадиях жизненного цикла объекта от проектирования до модернизации.

Стандарт 6LoWPAN позволяет организовать надежную сеть передачи данных по радиоканалу в условиях сложного рельефа местности и при больших площадях покрытия.

Такая сеть обладает возможностями самовосстановления при выходе отдельных узлов сети из строя. Добавление новых устройств происходит в полуавтоматическом режиме – достаточно лишь назначить IP адрес устройству в сети маршрутизатора (роутера).

Любой объект радиосети, доступный по эфиру для хотя бы ещё одному из сети 6LoWPAN, автоматически становится доступным для всей сети. Механизм ретрансляции основан на простых алгоритмах с использованием таблиц ретрансляции.

Контроллеры телемеханики, подключенные к сети 6LoWPAN, представляют собой стандартные TCP-IP-устройства. Для просмотра состояния контроллера достаточно стандартного браузера или сервера опроса с протоколами TCP/IP.

На промышленных объектах необходимо обеспечить высокую скорость доставки информацию от нижних уровней автоматизации к верхним. Как правило, время полного обновления информации на диспетчерском пункте с количеством объектов телемеханики до несколько сотен не должно превышать 1 минуту. Стандарт 6LoWPAN позволяет обеспечить скорость передачи данных в радиоканале на уровне 250 кбит/с на расстоянии в несколько километров.

Стандарт радиосвязи IEEE 802.15.4 был спроектирован чтобы обслуживать различный рынок приложений, где требуется большое количество устройств. Пропускная способность в этом стандарте ограничена 250 кбит/с, а длина фрейма ограничена 127 байтами, что гарантирует низкую частоту появления ошибок пакетов и битов при передаче по радиоканалу. Кроме того, 6LoWPAN работает обычно в mesh-сети с ретрансляцией пакетов через несколько узлов, что является фундаментальным отличием от сети на основе LoRaWAN или Wi-Fi.

Протоколом маршрутизации 6LoWPAN является RPL (Routing Protocol с route-over-маршрутизация), который определяет маршрутизацию IPv6 для маломощных сетей с потерями (RPL), и поддерживает либо трафик multipoint-to-point от устройств 6LoWPAN-сети в центральный пункт управления (например, сервер в ситемы), либо трафик point-to-multipoint из центрального пункта управления к устройствам в 6LoPWAN-сети, а также функции протокола обнаружения соседних узлов NDP.

Автоконфигурирование и обнаружение соседнего узла включает четыре этапа:

- запрос в поисках маршрутизатора (RS, router solicitation);
- объявление роутера (RA, router advertisiment);
- запрос в поисках соседних узлов (NS, neighbor solicitation);
- объявление соседнего узла (NA, neighbor advertisement).

Обнаружение соседнего узла IPv6 (ND, network discovery) позволяет устройству обнаруживать соседей, поддерживать информацию об их достижимости, конфигурировать маршруты по умолчанию и распространять параметры конфигурации.

Безопасность необходима для систем IoT и эта проблема нуждается в решении. Из-за природы IoT, чье множество узлов во многих случаях имеет весьма ограниченные функции, существует много точек для атаки извне. Другой критический аспект состоит в том, что данные, циркулирующие в типичной системе IoT, это не просто «данные». Интерес злоумышленника к ним намного выше, так как данные из беспроводной системы могут использоваться, например, чтобы управлять объектом или удаленно выключить систему управления контроля доступом.

Сегодня необходимо использовать самые последние схемы безопасности, чтобы быть впереди всех. 6LoWPAN использует преимущества мощной системы безопасной передачи данных AES-128 канального уровня, определенной в IEEE 802.15.4. Безопасность канального уровня обеспечивается аутентификацией и шифрованием. В дополнение к безопасности канального уровня в 6LoWPAN-системах, демонстрирует отличную работу механизм безопасности транспортного уровня (TLS). TLS, как определено в RFC 5246, работает поверх TCP. В случае ограниченных ресурсов, где UDP выбран в качестве протокола транспортного уровня вместо TCP, для обеспечения безопасности на транспортном уровне может использоваться RFC 6347 (безопасность датаграмм транспортного уровня). Однако нужно отметить, что реализация TLS/DTLS требует, чтобы устройства имели необходимые ресурсы, такие как аппаратный механизм кодирования, чтобы обеспечить использование расширенного набора шифров, и другие. Устройством, специально разработанным для этих целей, является беспроводный MCU TI (Texas Instruments) CC2538, в который встроен центральный процессор ARM® Cortex®-M3 и радио IEEE 802.15.4 оснащенный аппаратным механизмом кодирования, способным к поддержке TLS/DTLS.

Данный MCU используется в устройствах радиосвязи компании «Авиатрон» для сбора и передачи данных в системах телемеханики месторождений нефти.

Функциональная совместимость является важным аспектом применения современного оборудования, которое должно иметь способность устройств от различных изготовителей обмениваться информацией. Некоторые стандарты определяют функциональную совместимость на одном или двух уровнях в модели OSI, в то время как другие определяют совместимость системы в целом. Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE)

сосредотачивается на телекоммуникации и радиотехнике, выпуская стандартные спецификации. IEEE не обеспечивает тестирование функциональной совместимости или программы сертификации. Назовем несколько стандартов, предложенных IEEE:

- спецификация Ethernet IEEE 802.3 используется сегодня в большинстве компьютеров;
- IEEE 802.11 является основой для спецификации Wi-Fi;
- IEEE 802.15.4 определяет беспроводные персональные сети (PAN), среди которых ZigBee и 6LoWPAN и определяет физический (PHY) и MAC-уровни.

Рабочая группа инженеров Интернета (IETF) является открытой организацией по стандартизации, ответственной за многие стандарты, используемые сегодня в Интернете, самый известный набор — TCP/IP. Стандарты IETF, как описано в этом официальном документе, издаются в виде документов «Запрос для комментариев» (RFC), свободно доступных на сайте www.ietf.org. Несколько примеров популярных запросов на комментарии: RFC 2616, определяющий HTTP/1.1, и RFC 791, который определяет IPv4. Так же, как и IEEE, IETF не обеспечивает программы сертификации, таким образом поставщики не могут получить подтверждение, что их продукт полностью отвечает требованиям стандартов.

Однако есть несколько организаций и союзов, которые принимают стандарты от IEEE, IETF и других организаций и используют их, чтобы создать целостные программы сертификации, позволяющие гарантировать полную функциональную совместимость продуктов. Есть несколько организаций, продолжающих работать с функциональной совместимостью 6LoWPAN, включая Thread Group, которая ориентируется на определении компонентов от физического до транспортного уровня (в модели OSI) для умных домашних систем, включая программы сертификации.

В нашем применении функциональная совместимость оборудования радиосвязи основана на совместимости радиоканала стандарта IEEE 802.15.4 и протоколов TCP/IP, для которых оборудование компании «Авиатрон» представляет собой Ethernet канал, разве что с меньшей пропускной способностью, по сравнению с кабелем.

При разработке устройств 6LoWPAN в MCU CC2538 была применена операционная система с открытым исходным кодом – Contiki, специально разработанная для IoT и устройств с ограниченными ресурсами. Она предназначена для работы на микроконтроллерах без MMU и обеспечивает поддержку беспроводных сетей, включая реализацию протокола 6LoWPAN. В ней также реализована поддержка протоколов сетевого уровня, таких как RPL, что обеспечивает маршрутизацию в радиосетях стандарта IEEE 802.15.4. Использование Contiki с поддержкой 6LoWPAN позволяет создавать гибкие, масштабируемые IoT-сети с возможностью глобальной коммутации по IPv6, что делает возможным интеграцию устройств в интернет, упрощая управление и обработку данных в системах телемеханики, мониторинга и автоматизации в нефтедобыче.

На основе контроллеров серии «Мега12» компанией «Авиатрон» были разработаны радиомодемы марки Мега12-РМ2400, работающие в безлицензионном диапазоне частот 2400…2483,5МГц и предназначенные для создания самоорганизующихся сетей передачи данных стандарта IEEE 802.15.4 6LoWPAN в распределённых системах телемеханики. Благодаря конструктивному исполнению радиомодема, совмещающему устройство с антенной, радиомодем Мега12-РМ2400 можно установить на мачте высотой 10м или более, что обеспечивает прямую видимость с соседними устройствами и дальность связи до 5-7км. Модем позволяет подключать внешние устройства по интерфейсу RS485 или Ethernet, что обеспечивает доступ до конечных устройств по стандартным IP протоколам, таким как Modbus TCP.

С 2017 года радиомодемы успешно прошли ОПИ в компании ООО «Башнефть-Добыча» и применяются в промышленной эксплуатации в компаниях ООО «Башнефть-Добыча», ООО «Байтекс», ООО «УДС-нефть», ООО «Регион-нефть», ООО «РИТЭК», ПАО «Удмуртнефть» им. В.И. Кудинова.

Наиболее массово применение оборудования с радиоканалом 6LoWPAN достигнуто при строительстве системы телемеханики ТПП «Волгограднефтегаз» и ТПП «ТатРИТЭКнефть» ООО «РИТЭК». Система телемеханики включает в себя более 1600 объектов нефтедобычи и представляет пользователям информацию в реальном времени. Применение дешёвых УСО на базе контроллеров Мега12-ТМ32 с встроенным модемом 6LoWPAN позволило телемеханизировать Жирновское м.р. и Бахметьевское м.р. ТПП «Волгограднефтегаз», которые построены по принципу одиночного разбуривания. Большое количество объектов и расстояние в 500-600 метров между ними не позволяло применять дорогостоящие системы связи. На сегодня в ООО «РИТЭК» компанией «Авиатрон» в систему телемеханизации кустов скважин, АГЗУ и блоков гребёнок интегрировано более 2000 объектов с применением технологии 6LoWPAN.

IoT TECHNOLOGIES IN DATA TRANSMISSION NETWORKS OF TELEMECHANICS SYSTEMS FOR OIL EXTRACTION FACILITIES

Telyaubaev T.Yu., Barbak S.V.
(NPP AVIATRON LLC)

The article discusses the application of Internet of Things (IoT) technologies, specifically focusing on wireless communication protocols such as 6LoWPAN, in telemetry systems for oil extraction facilities. It highlights how 6LoWPAN enables reliable data transmission over long distances while maintaining low power consumption, making it suitable for remote locations. The paper also emphasizes security measures implemented within these networks to protect critical infrastructure from external threats. Additionally, practical implementation examples are provided, demonstrating successful deployment of 6LoWPAN-based solutions in various Russian oil companies.

УДК 535.93

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ

Любопытов В.С., Султанов А.Х.
(Уфимский университет науки и технологий)

С тех пор, как Л. Алленом и соавторами было продемонстрировано [1], что световые пучки со спиральным фазовым фронтом, т.н. оптические вихри, обладают орбитальным угловым моментом (ОУМ), равным $\ell\hbar$ на фотон (где ℓ – целочисленный азимутальный порядок, $\hbar$ – постоянная Дирака), были разработаны многочисленные приложения таких пучков в различных областях науки и техники [2]. Поскольку вихревые моды, переносящие различные состояния ОУМ, образуют базис ортогональных функций, их применение в качестве несущих в классических системах передачи позволяет реализовать пространственное мультиплексирование (spatial division multiplexing – SDM) как в атмосферных, так и в волоконных оптических линиях связи [3]. Таким образом, ОУМ представляет собой дополнительную независимую степень свободы, которая при использовании в дополнение к доменам, применяемым в настоящее время для мультиплексирования сигналов (временному, частотному и поляризационному), потенциально позволяет многократно повысить скорость передачи оптических систем связи и преодолеть нелинейный предел Шеннона для одномодового оптического волокна.

Первоначально оптические вихри рассматривались как световые пучки в свободном пространстве и моды в оптических волокнах. Однако, в настоящее время, всё больше внимание научного сообщества уделяется разработке решений на основе фотонных интегральных схем (ФИС) для формирования, передачи и обработки вихревых мод, поскольку такой подход позволяет обеспечить миниатюризацию, надежность, повторяемость, энергоэффективность и конкурентную стоимость устройств для приложений оптических вихрей.

Для обеспечения реализуемости таких интегральных оптических устройств на уровне промышленного производства, необходимо, чтобы процесс их изготовления был совместим с существующими планарными технологическими процессами фабрикации интегральных схем. С другой стороны, для передачи идеальных вихревых мод в направляющей системе требуется цилиндрическая структура волновода, естественным образом обеспечивающая распространение моды с множителем $e^{\pm i\ell\varphi}$, (где φ – азимутальный угол). Данное условие автоматически выполняется в оптических волокнах, но не является очевидным для прямоугольных волноводов, изготавливаемых путем литографии.

В связи с этим, возможны два принципиально различных топологических подхода к реализации интегральных устройств для работы с оптическими вихрями на ФИС: 1) вихревой пучок формируется перпендикулярно плоскости ФИС (out-of-plane) и передается в свободное пространство или через коллиматор

вводится в оптическое волокно, при этом структура формирующего интегрального устройства может быть реализована на основе одномодовых волноводов, что обеспечивает совместимость с существующими технологическими платформами ФИС [4, 5]; 2) вихревой пучок формируется и передается непосредственно в волноводах в плоскости ФИС (in-plane) [6]. В этом случае сформированный оптический вихрь остается локализованным на чипе и может быть далее передан, обработан или как-либо использован также в рамках данной ФИС. Однако, при таком подходе, очевидно, требуется модернизация технологического процесса изготовления ФИС под специфику многомодовых волноводов.

На основе первого подхода были разработаны, реализованы и экспериментально апробированы интегральные МЭМС-фильтры, формирующие (либо детектирующие) вихревые пучки с перестройкой по длине волны. С использованием данных устройств продемонстрирована возможность одновременного (де)мультиплексирования сигналов по ОУМ и длине волны [7, 8]. Другим возможным вариантом реализации интегральных излучателей оптических вихрей с перестройкой по длине волны является использование кольцевого резонатора с вытравленной на поверхности кольцевого волновода дифракционной решеткой и встроенным обедненным pn-переходом [9]. Как показывают результаты моделирования, при достаточно большом диаметре такого кольцевого резонатора (>50 мкм), возможна не только перестройка резонансной длины волны при заданном порядке излучаемого вихря, но также и переключение азимутального порядка вихревого пучка при постоянной рабочей длине волны. При этом частота перестройки/переключения может достигать десятков ГГц.

В качестве альтернативного подхода к топологии ФИС для приложений вихревых мод, был впервые теоретически обоснован и экспериментально подтвержден новый подход к передаче вихревых мод в плоскости ФИС непосредственно в прямоугольных диэлектрических волноводах [10-12]. Такой подход открывает возможность формирования и применения оптических мод, переносящих ОУМ, полностью на чипе. Для проверки возможности передачи ОУМ в планарных диэлектрических волноводах, мы рассматриваем суперпозиции квази-TE или квази-TM мод вида:

$$\mathbf{E}_{\pm\ell}(x,y,z) = -i^{\ell}\sum_{j=0}^{\ell}(\pm i)^{j}\mathbf{E}_{j,\ell-j}(x,y)\exp(-i\beta_{j,\ell-j}z),\ \ell = 1, 2, \ldots \qquad (1)$$

где β_{pq} – коэффициенты распространения соответствующих собственных мод волновода с индексами p и q. Используя приближенный аналитический метод Маркатили для описания электромагнитного поля оптических мод в прямоугольных волноводах [13], мы показываем, что собственные моды волновода с индексами 01 и 10 образуют квази-вырожденную фазовую вихревую моду типа TE либо TM порядка $\ell = \pm 1$ (Рис. 1). При этом, согласно результатам численного моделирования, чистота состояния ℓ=1 в ОУМ-спектре составляет около 99,6% по мощности. Аналогично, для формирования вихревой моды порядка $\ell = \pm 2$ необходимы три собственные моды с индексами 11, 02 и 20, для

$\ell = \pm 3$ – четыре собственные моды с индексами 12, 21, 03 и 30, т.д. Однако только для случая $\ell = \pm 1$ собственные моды, составляющие сумму (1), могут быть полностью согласованы по фазе; в случае же $|\ell| = \geq 2$ не могут быть одновременно получены равные коэффициенты распространения для всех собственных модовых составляющих (в последнем случае вихревые моды нельзя считать квази-вырожденными, т.е. их распространение будет происходить с некоторой длиной биений). Однако параметры волновода могут быть оптимизированы для минимизации разницы между эффективными показателями преломления соответствующих собственных мод, и с помощью термооптического фазосдвигателя схема формирования вихревой моды может быть подстроена так, чтобы моды, переносящие состояния ОУМ $|\ell| = \geq 2$, возникали в заданной координате на продольной оси волновода.

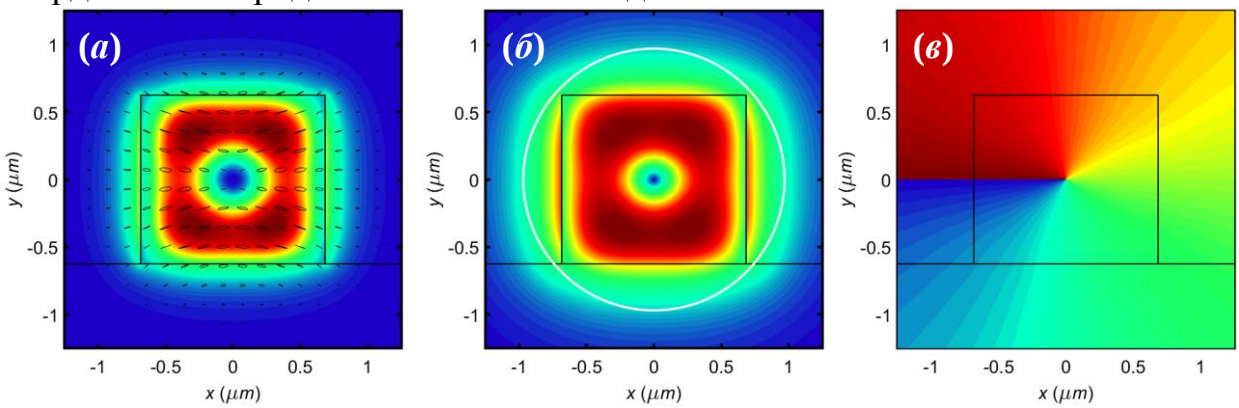


Рис. 1. Результаты численного моделирования распределения поля квази-вырожденой ТЕ-моды порядка $\ell = 1$ в симметричном волноводе из Si_3N_4 с поперечными размерами 1250×1370 нм, оптимизированными из условия согласования фаз собственных мод ($\beta_{01} \approx \beta_{10}$), материал оболочечных слоев – SiO_2. (*а*) – интенсивность поперечных компонент поля (I_x+I_y) и направление вектора поляризации, (*б*) и (*в*) – амплитуда и фаза доминирующей компоненты электрического поля E_x.

На основании предложенного подхода к передаче вихревых мод в прямоугольных диэлектрических волноводах и полученных оптимизированных конструкций таких волноводов, разработано и численно оптимизировано интегральное устройство для формирования вихревых мод порядка $\ell \pm 1$ в волноводе в плоскости ФИС [14]. Устройство представляет собой дифракционную решетку ввода-вывода, которая позволяет из основной моды оптического волокна вводить излучение в вихревую моду интегрального волновода и может быть изготовлено по стандартной планарной технологии. Как показали результаты моделирования, предлагаемая конструкция может обеспечить генерацию вихревой моды порядка ±1 с нормированным коэффициентом целевого состояния ±1 в спектре ОУМ >0,96 по мощности, что достаточно для большинства приложений. По сравнению с другими ранее предложенными схемами интегральных устройств для генерации вихревых пучков, предлагаемая конструкция позволяет: 1) формировать на выходе фазовую вихревую моду с ТЕ-поляризацией, где спиральный фазовый фронт переносится доминирующей поперечной компонентой электрического поля; 2)

возбуждение устройства обеспечивается одним стандартным одномодовым волокном; 3) для корректной работы устройства не требуется внешнего электрического управления или подстройки, т. е. оно может быть реализовано как полностью пассивное устройство на ФИС.

В настоящее время в качестве перспективных направлений исследований в области интегральных решений для приложений оптических вихрей можно выделить: 1) дальнейшую разработку и оптимизацию (в т.ч. с применением методов обратного дизайна) интегральных компонентов для работы с вихревыми модами на ФИС; особенный интерес представляют решения по преобразованию модового пятна для торцевого ввода/вывода оптических вихрей между ФИС и оптическим волокном, а также решения по прямой лазерной генерации оптических вихрей на ФИС; 2) разработка интегральных (де)мультиплексоров вихревых мод с достаточно большим числом каналов, обеспечивающим техническую и экономическую рентабельность систем передачи с пространственным мультиплексированием по ОУМ; 3) разработка конструкций и освоение технологии маломодовых оптических волокон в качестве линий связи между интегральными приемопередатчиками с поддержкой распространения вихревых мод с минимизированным модовым смешением.

Исследования были выполнены при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания образовательным организациям высшего образования и DAAD (проект № 3712), и в рамках гранта РНФ и DFG (Соглашение № 19-49-04112).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allen L., Beijersbergen M.W., Spreeuw R.J.C., Woerdman J.P. Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes // Phys. Rev. A. 1992. Vol. 45. P. 8185–8189.

2. Forbes A., Ramachandran S., Zhan Q.W. Photonic angular momentum: progress and perspectives // Nanophotonics. 2022. Vol. 11. P. 625–631.

3. Wang J. Twisted optical communications using orbital angular momentum // Sci. China-Phys. Mech. Astron. 2019. Vol. 62, no. 3, 034201.

4. Cai X., Wang J., Strain M.J., Johnson-Morris B., Zhu J., Sorel M., O'Brien J.L., Thompson M.G., Yu S. Integrated Compact Optical Vortex Beam Emitters //. Science. 2012. Vol. 338. P. 363–366.

5. Zahidy M., Liu Y., Cozzolino D., Ding Y., Morioka T., Oxenløwe L. K. and Bacco D. Photonic integrated chip enabling orbital angular momentum multiplexing for quantum communication // Nanophotonics. 2022. Vol. 11, no. 4. P. 821-827.

6. Zhao W., Yi X., Huang J., Liu R., Wang J., Shi Y., Ma Y., Forbes A., Dai D. All-on-chip reconfigurable generation of scalar and vectorial orbital angular momentum beams // Light Sci. Appl. 2025. Vol. 14, 227.

7. Paul S., Lyubopytov V. S., Schumann M. F., Cesar J., Chipouline A., Wegener M. and Küppers F. Wavelength-selective orbital-angular-momentum beam generation using MEMS tunable Fabry-Perot filter // Optics Letters. 2016. Vol. 41, no. 14. P. 3249–3252.

8. Lyubopytov V. S., Porfirev A. P., Gurbatov S. O., Paul S., Schumann M. F., Cesar J., Malekizandi M., Haidar M. T., Wegener M., Chipouline A. and Küppers F. Simultaneous wavelength and orbital angular momentum demultiplexing using tunable MEMS-based Fabry-Perot filter // Optics Express. 2017. Vol. 25, no. 9. P. 9634–9646.

9. Stepanov I. V., Fatkhiev D. M., Lyubopytov V. S., Kutluyarov R. V., Grakhova E. P., Neumann N., Khonina S. N., Sultanov A. K. Wavelength-Tunable Vortex Beam Emitter Based on Silicon Micro-Ring with PN Depletion Diode // Sensors. 2022. Vol. 22, no. 3, 929.

10. Lyubopytov V. S., Chipouline A., Zywietz U., Chichkov B., Sokolovskii G. S., Averkiev N. S., Savchenko G. M., Bougrov V. E., Tafur Monroy I. and Küppers F. Optical Vortex Propagation in Few-mode Rectangular Polymer Waveguides // in CLEO-PR/OECC/PGC 2017, paper P3-018.

11. Lyubopytov V.S., Shipulin A.V., Sultanov A.Kh., Küppers F., Tafur Monroy I. Analysis of In-plane Vortex Mode Propagation in the Waveguides of the Photonic Integrated Circuits // Материалы Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях», Уфа, 20–22 ноября 2018 г. Стр.186-188.

12. Lyubopytov V. S., Kutluyarov R. V., Bagmanov V. K., Neumann N., Sultanov A. K. Modeling and optimization of vortex modes propagation in rectangular dielectric waveguides // IEEE Photonics Journal. 2020. Vol. 12, no.1, 6100117.

13. Marcuse D. Theory of Dielectric Optical Waveguides // 2nd ed. San Diego: Academic, 1991, pp. 49-59.

14. D. M. Fatkhiev, V. S. Lyubopytov, R. V. Kutluyarov, E. P. Grakhova, A. K. Sultanov. A Grating Coupler Design for Optical Vortex Mode Generation in Rectangular Waveguides // IEEE Photonics Journal. 2021. Vol. 13, no. 4, 6600108.

INTEGRATED DEVICES FOR FORMING AND TRANSMISSION OF OPTICAL VORTICES

Lyubopytov V.S., Sultanov A.Kh.
(Ufa University of Science and Technology)

We show the theoretical and experimental results on generation, propagation, filtering and detection of the vortex light modes, implemented by the means of integrated photonics. The possibility for the simultaneous orbital angular momentum (OAM) and wavelength division (de)multiplexing was demonstrated using the integrated devices, emitting vortex beams with the wavelength tuning. The novel in-plane vortex mode transmission approach was theoretically proven and experimentally validated to pave the way for all-on-chip processing of the OAM-carrying light. Based on this approach, a compact integrated device, based on a grating coupler, has been designed and validated by numerical modeling.

УДК 621.396.49, 512.64

МНОГОМЕРНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЭЭГ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДИНАМИКИ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ С РАС

Юсупов Р.А., Щербакова Т.Ф., Овчинников А.Л., Коробков А.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Несмотря на колоссальное развитие медицины за последнее время и существенное увеличение продолжительности жизни, выявляется всё больше заболеваний и патологий у детей с младенческого возраста, связанных с ментальными отклонениями. В частности, по статистическим данным каждый сотый ребёнок в мире имеет расстройства аутистического спектра (РАС) [1].

РАС – это пожизненное расстройство, которое проявляется неспособностью социализироваться в обществе и характеризуется отсутствием общения и интересов. Причём проявление и течение этого заболевания настолько разнообразно, что часто приводит к невозможности его диагностики у детей в малом возрасте. Причиной этого также становится и то, что диагностика РАС выполняется на основе анализа поведенческих симптомов у детей, что часто является результатом субъективного анализа.

Очевидным представляется использование электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов для диагностики РАС, так как процессы, происходящие в головном мозге и характер его развития у таких детей, формирует симптомы заболевания. Преимуществом ЭЭГ является получение данных о функционировании мозга без необходимости контроля поведенческого ответа. Многие научные коллективы и физиологи в России и за рубежом активно работают в этом направлении и демонстрируют обнадёживающие результаты [1]. Тем не менее, использование сигналов ЭЭГ для объективной диагностики сталкивается с рядом проблем, которые требуют решения.

Регистрация ЭЭГ сигналов проводится с использованием электродов, которые накладываются на поверхность головы. В то же время сенсорные особенности детей с РАС приводят к тому, что они крайне чувствительны к прикосновениям и ограничению их движения. Это накладывает определённые требования на способ регистрации ЭЭГ сигналов у таких детей. Сенсорная особенность детей не позволяет использовать для измерений большое количество электродов, что является критическим факторов при использовании стандартных методов измерения ЭЭГ.

Кроме того, при регистрации ЭЭГ необходимо учитывать ограничения на время проведение измерений, которое из-за особенностей детей с РАС, значительно меньше, чем у детей без расстройства. Такие дети, в силу своих особенностей, не способны долго находиться в спокойном состоянии, что приводит к появлению в измеряемых сигналах большого количества артефактов, влияющих на качество исследований. Указанные ограничения требуют разработки особого протокола измерений, включающий в себя наложение

электродов на голову ребёнка, процесс и время регистрации ЭЭГ сигналов, меры, направленные на сохранение ребёнка в спокойном и неподвижном состоянии.

Хотя РАС это пожизненное расстройство, тем не менее, ранняя медицинская диагностика и начало реабилитации даёт обнадёживающие результаты. Люди с такими расстройствами способны к социализации при соответствующих реабилитационных мероприятиях. Одними из них являются занятия адаптивной физической культурой (АФК). Практический опыт показывает большой прогресс в реабилитации у детей с РАС, занимающихся различными видами спорта [2]. Однако оценка качества реабилитации осуществляется на основе контроля поведенческого ответа ребенка, который в сильной степени зависит от субъективности специалиста. Это обстоятельство существенно снижает возможности масштабирования данного метода реабилитации.

В этой связи актуально определение объективных биомаркеров, характеризующих нейронную активность, которые связанны с особенностями РАС и физической активностью. Авторам работы видится перспективным использование сигналов ЭЭГ в качестве источника получения объективных биомаркеров, показывающего изменения в электрической активности нейронов мозга в процессе реабилитации, использующей АФК. В то же время, специфика организации реабилитации обуславливает определенные требования к оборудованию для измерения ЭЭГ. Оно должно позволять регистрировать сигналы ЭЭГ с небольшого количества отведений, быть недорогим и простым в использовании. Такие решения в России существуют. В докладе приводятся краткие сведения о них, приводятся их достоинства и ограничения.

Несмотря на современный прогресс, как в медицинских технологиях, так и в методах обработки сигналов и данных, исследования в области заболеваний, связанных с ментальными отклонениями находятся пока на начальном этапе. Это объективно связано с огромным разнообразием особенностей таких заболеваний, их симптомами и причин их возникновения. Применение ЭЭГ для исследования РАС является одним из наиболее перспективных направлений [3,4]. Количественные характеристики сигналов ЭЭГ (таких, как спектр, когерентность внутри- и межполушарных взаимодействий и др.) позволяет исследовать особенности нейродинамики мозга при РАС, способствуют уточнению клинических вариантов прогноза, а также изучать нейрофизиологические механизмы развития аутизма.

Анализ работ в этой области показывает, что накоплен достаточно большой статистический материал по различным характеристикам сигналов ЭЭГ, зарегистрированных у детей, связанных с аутизмом. Несмотря на то, что выявлены существенные различия ЭЭГ у детей с нормальным психофизическим развитием и детей с РАС, на сегодняшний день отсутствуют количественные критерии, позволяющие идентифицировать типы и степень расстройства, а также прогнозировать их течение. Поэтому зачастую существующие биомаркеры РАС весьма разнородны и нередко противоречат друг другу, что существенно затрудняет их практическое применение [4].

Таким образом, ставится задача определения объективных биомаркеров, что требует использования новых подходов к обработке и анализу ЭЭГ сигналов. Природа этих сигналов по своей сути многомерна. Регистрация сигналов ЭЭГ производится во временной области, что даёт первую размерность. Сигналы регистрируются с электродов, установленных на поверхности головы, что даёт вторую размерность – пространственную.

Классический анализ ЭЭГ сигналов проводится на основе пространственно-временных зависимостей, но это часто бывает затруднительно в силу присутствия в сигналах ЭЭГ большого количества шумов и результатов фоновой активности головного мозга. Поэтому для анализа используют интегральные характеристики – спектры ЭЭГ сигналов.

В сигналах ЭЭГ при разных модальностях присутствуют так называемые ритмы: альфа-ритм, бета-ритм и другие. Эти ритмы характеризуются своими частотными характеристиками. В частности, альфа-ритм соответствует частотному диапазону от 9 до 11 Гц и возникает у человека в спокойном и расслабленном состоянии в затылочной области. Таким естественным образом формируется третья размерность – частота сигнала.

Для обработки и анализа таких многомерных сигналов авторами видится перспективным использование существующих методов, основанных на тензорной алгебре [5]. С одной стороны, это позволяют объединять данные разной модальностью, и при их совместной обработке даёт возможность выявления скрытых закономерностей и факторов, отражающие характерные особенности исследуемых сигналов. С другой стороны, многомерная обработка снижает размерность данных и эффективно снижает в них уровень шума.

Основными методами многомерной обработки являются разложение тензоров с данными на матрицы или вектора – факторы. Факторизация может проводиться на основе канонического полиадического разложения (Canonical Polyadic Decomposition – CPD) или многомерного сингулярного разложения (Multi-Linear Singular Values Decomposition – MLSVD). Разложение CPD позволяет представить многомерные данные или сигналы в виде наборов ортогональных векторов или матриц, описывающих закономерности в этих данных. Результаты такого вида факторизации физически интерпретируемы, что даёт большие возможности для обработки и анализа многомерных ЭЭГ сигналов.

Разложение MLSVD позволяет разложить многомерные данные на корневой тензор и факторные матрицы. Результат разложения физически не интерпретируем, но позволяет сформировать понимание структуры данных, оценить порядок многомерной CPD модели и уменьшить уровень шума.

Таким образом, авторами предлагается следующая последовательность обработки многомерных сигналов ЭЭГ. На первом этапе производится предварительная обработка ЭЭГ сигналов и получение частотно-временных распределений. Для этого предполагается использовать вейвлет преобразование с материнской функцией Морле. Из полученных распределений произовдится

сборка тензоров с размерностями частота-время-номер отведения (канал регистрации).

На следующем этапе производится разложение MLSVD для оценки порядка многомерной модели CPD. Дальше производится факторизация тензоров с использованием CPD. Результатом разложения являются факторные матрицы по каждой размерности. На финальном этапе полученные результаты интерпретируются специалистами физиологами и врачами для оценки уровня ментального отклонения.

Такой подход является универсальным и позволяет добавлять другие размерности. Например, вид упражнения при АФК, порядковый номер проводимого исследования в процессе занятий АФК ребёнком и т.д. Получаемые в результате многомерной обработки сигналов количественные характеристики ЭЭГ (биомаркеры) становятся менее чувствительными к шумам, имеют большую связанность с нейрофизиологией (лучше интерпретируются). Также в них сохраняются взаимосвязи, позволяющие учитывать взаимодействие различных участков мозга.

Полученные сведения об изменении биомаркеров в динамике во течение относительно длительного времени занятий ребёнком АФК будет использоваться для оценки эффективности занятий и коррекции тренировочного процесса. Это позволит достичь цели повышения эффективности реабилитации детей с РАС при занятиях АФК.

В докладе авторами формулируется постановка задачи для оценки прогресса реабилитации детей с РАС, предлагаются варианты оборудования для надёжной регистрации ЭЭГ сигналов, рассматриваются методы обработки многомерных сигналов и данных с целью формирования перечня биомаркеров на основе ЭЭГ, объективно отражающих прогресс реабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамирова Р.Г., Сафина А.Р., Горобец Е.А., Сафина Д.Р. Расстройства аутистического спектра у детей: диагностическая значимость электроэнцефалографии // Вестник современной клинической медицины. – 2023. – Т.16, вып.2. – С.80-88. DOI: 10.20969/VSKM.2023.16(2).80-88.

2. Евсюкова Т.А., Карпушенко О.И. РЕАБИЛИТАЦИЯ ПАЦИЕНТОВ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА СРЕДСТВАМИ АДАПТИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ // Вестник науки №6 (87) том 1. С. 1973 - 1986. 2025 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: https://www.вестник-науки.рф/article/23818 (дата обращения: 08.10.2025 г.).

3. Zong W, Lu X, Dong G, Zhang L and Li K (2023) Molecular mechanisms of exercise intervention in alleviating the symptoms of autism spectrum disorder: Targeting the structural alterations of synapse. Front. Psychiatry 14:1096503. DOI: 10.3389/fpsyt.2023.1096503.

4. Чиж, Д. И., Петрова, Е. В., Мужиков, В. С., Обедкина, Е. Н. Особенности ЭЭГ-диагностики у детей с расстройствами аутистического спектра // Ульяновский медико-биологический журнал. 2021. №2. URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-eeg-diagnostiki-u-detey-s-rasstroystvami-autisticheskogo-spektra (дата обращения: 08.10.2025).
5. Korobkov A. A. и др. Robust Multi-Dimensional Model Order Estimation Using LineAr Regression of Global Eigenvalues (LaRGE) // IEEE Transactions on Signal Processing. 2022. Т. 70. С. 5751–5764.

MULTI-LINEAR EEG SIGNAL PROCESSING FOR THE PSYCHOPHYSICAL CONDITION ESTIMATION OF CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER (ASD).

Yusupov R.A., Tcherbakova T.F., Ovchinnikov A.L., Korobkov A.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

In the report, the authors set out to assess the progress of rehabilitation for children with ASD. They propose equipment options for reliably recording EEG signals and consider methods for processing multi-dimensional signals and data to create a list of biomarkers based on EEG that can objectively reflect progress in rehabilitation.

УДК 004.93

ПРОСТРАНСТВО МИНКОВСКОГО И СЕМИОТИКА В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ: ОТ СМЫСЛА ТЕКСТА К ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ СОБЫТИЙ

[1]Антонов В.В., [2]Пальчевский Е.В., [1]Родионова Л.Е.
([1]Уфимский университет науки и технологий, [2] МИРЭА - Российский технологический университет)

Предложена новая стратегия интеграции элементов теории категорий и физических принципов, таких как пространство Минковского, для повышения точности и устойчивости модели. Дополнительно внедрён физико-математический подход: модель строит причинно-следственные графы в пространстве Минковского, что улучшает предиктивный анализ (например, генерацию последовательных кадров) и повышает логическую связность многоуровневых ответов. В совокупности предложенное решение показывает возможность существенного улучшения качества дистанционного образования и интеллектуальных систем поддержки решений.

Показано взаимодействие совместное использование пространства Минковского и грамматик Хомского в модели трансформера, что позволяет создать систему, способную учитывать как временной контекст, так и синтаксические правила языка одновременно. Это сочетание методов обеспечивает повышение точности генерации и понимания текста, улучшение качества диалоговых взаимодействий и увеличение общего уровня удовлетворенности пользователей.

Один из примеров успешного внедрения теоретико-физических подходов описан в исследовании (https://www.jivo.ru/blog/ecommerce/giga-chat.html). Специалисты по машинному обучению разработали метод прогнозирования будущих событий, основанный на принципах специальной теории относительности, включая идеи причинности, пространства-времени Минковского и световых конусов. Этот подход позволил создать алгоритм, успешно применяемый в задачах предиктивного анализа и генерации последовательных кадров на основе исходных наборов изображений, а также оказывать помощь чат-ботам справляться с задачей предоставления релевантных рекомендаций, выстраивания последовательности действий и обработки сложных многоуровневых запросов. Учитывая универсальность такого подхода, рассмотрена возможность применения пространственной размерности Минковского для построения пространственных конфигураций, объединённых категориальными связями, с учётом причинно-следственных связей.

Визуализация пространства Минковского для представления смысловой части текста может быть выполнена в виде трёхмерных слоев, где четвертое измерение (временное) представлено цветом или прозрачностью, или вообще отложено на сторону, чтобы сосредоточить внимание на семантических характеристиках.

Возьмем русский текст и проведем его токенизацию. Вычислим попарные расстояния (эмуляция механизма внимания) между словами на основе их позиций и

частотности. Нарисуем тепловой график (heatmap), который будет демонстрировать, как слова связаны друг с другом. Перемещения точек в пространстве Минковского образуют траектории, отражающие эволюцию смыслов. Видимая траектория от начальной точки к конечной покажет развитие понятий и их взаимосвязь.

В таком пространстве каждому событию можно сопоставить точку, пространственные координаты которой описывают место, где событие произошло, а временная координата – временная компонента, когда оно случилось (рис. 1):

$K_1 = \{C_1,\ C_2,\ C_3,...,C_n\}$ – входные компоненты, представляющие множество вариантов запросов (текст, картинки, звуки, чертежи, алфавит и т.п.).

$K_2 = \{P_1,\ P_2,\ P_3,...,P_l\}$ – множество правил по формальным грамматикам Хомского.

$K_3 = \{R_1,\ R_2,\ R_3,...,R_m\}$ – множество вариантов ответов.

Здесь n,l,m – мощности соответствующих множеств. Трансформеры выполняют ключевую роль в области лингвистических исследований и приложений для обработки естественного языка. Их механизмы внимания позволяют учесть языковые нюансы с учетом целостности, что является критически важным для решения задач, возникающих из-за вариаций и разнообразия диалектов, а также культурных контекстов. Эти модели существенно повышают как точность, так и контекстуальную релевантность, что делает трансформеры центральными компонентами в таких областях, как анализ настроения и машинный перевод. В результате своей способности эффективно отражать сложные лингвистические зависимости трансформеры произвели настоящую революцию в исследованиях и приложениях NLP, открывая новые возможности для создания интеллектуальных систем обработки языка [1].

Таким образом, NLP задачи могут быть представлены через семиотические связи, представленные системой [2, 3]. Семиотическая система представляет собой совокупность элементов, организованных определённым образом, позволяющих передавать и интерпретировать информацию посредством символов, изображений, звуков, жестов и других знаковых форматов. В семиотических системах представлен обширный контекст и результаты запросов могут быть разными, но сохранять основной смысл. При обратном запросе оригинальный текст не получится [4].

Каждый отдельный вариант становится лишь одной из допустимых интерпретаций оригинала. Результат не с точной эквивалентностью, а с одним из вероятных прочтений, заменяя симметричность преобразований на асимметрию, абсолютное равенство компонентов текстов на относительную взаимозаменяемость.

Поскольку смыслом в данном случае оказывается не только тот инвариантный остаток, который сохраняется при разнообразных

трансформационных операциях, но и то, что при этом изменяется, можем констатировать приращение смысла текста в процессе этих трансформаций.

Представим семантическое пространство формулой $S=(W,V)$ где: - S – семантическое пространство, - W – словарь (совокупность всех слов), - V – векторное пространство, где каждому слову сопоставлен уникальный вектор, отражающий его смысловые характеристики.

Каждое слово w представляется точкой в пространстве Минковского с координатами (x, y, z, t), где: x, y, z - пространственные координаты, зависящие от семантического смысла слова, t - временная координата, отражающая эпоху или контекст использования слова [5]. Пространство Минковского является фундаментальным понятием теории относительности, представляя собой четырехмерное псевдоевклидово пространство-время, где метрика задаётся следующим образом:

$$ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 ,$$

где

dx,dy,dz - разности пространственных координат (семантических измерений),

dt- разность временной координаты (исторического или временного аспекта).

В контексте семантического пространства координаты x, y, z представляют семантическую близость слов (например, синонимия, родственные отношения, тематическая принадлежность) и зависят от семантических признаков. Чем ближе точки, тем более близкими по смыслу считаются слова, координата t отражает исторический контекст или временной период, в течение которого слово употреблялось или приобрело популярность. Например, отражает историю и развитие слова, например, древнегреческое слово против современного английского. Большое значение t может означать, что слово старое или давно вышло из активного употребления.

Рассмотрим два слова w_1 и w_2 с координатами: $w_1=(x_1,y_1,z_1,t_1)$ *и* $w_2=(x_2,y_2,z_2,t_2)$

Интервал между ними составит: $ds^2(w_1,w_2)=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2-(t_2-t_1)^2$

Интерпретация знака интервала:

- Положительный интервал ($\geqslant 0$): Слова близки семантически и принадлежат одному временному периоду.

- Отрицательный интервал (<0): Слова далеки семантически или относятся к разным временным эпохам.

Для объединения обоих понятий в одну формулу мы можем предложить следующую абстрактную конструкцию. Пусть дано семантическое пространство S, представленное как векторное пространство над полем вещественных чисел. Вводя метрику, аналогичную метрике Минковского, применяя её к векторам слов, расстояние между двумя словамиw_1 и w_2 в таком пространстве можно определить как:

$$d(w_1,w_2)^2 = t_{w1} w_1^T A^{-1} t_{w2} w_2 - s_{w1}^T B s_{w2} ,$$

где:

t_w – представляет временную компоненту слова w,

S_w – пространственный компонент (семантический вектор),

A и B – положительно определённые матрицы, характеризующие влияние временной и пространственной компоненты соответственно

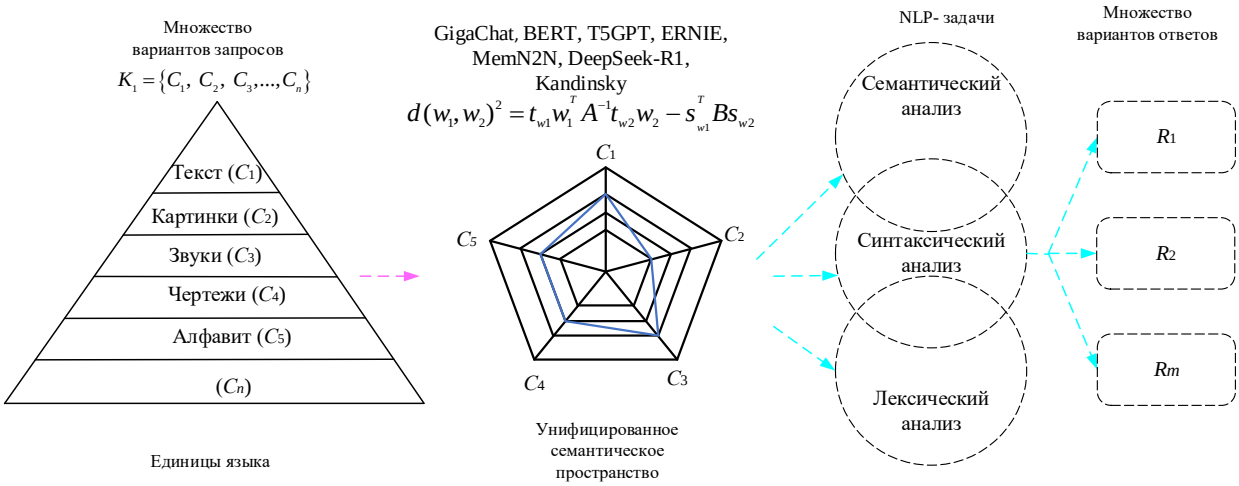


Рис. 1. Единое семантическое пространство для различных языковых структур и множества NLP-задач

На рисунке 1 представлена структура объектов с правилами поиска и запроса для конкретного языка, ответ осуществляется на том языке запроса, с возможностью перевода по лингвистическим правилам на другой язык [6, 7].

Исходный текст подаётся модели на начальном этапе обработки, входящий текст преобразуется моделью в числовое представление в виде набора векторов, удобных для последующей обработки. Применяя ранее полученные знания с помощью механизма внимания, модель изменяет структуру полученного вектора таким образом, чтобы он соответствовал структуре текста на требуемом языке перевода. Итоговый вектор подвергается обратному преобразованию в читаемый текст уже на целевом языке. Модель выводит итоговый текст, представляющий собой готовый перевод на целевом языке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шавгулидзе Н. Е. Размерность Минковского и фракталы в p-адических пространствах / Н. Е. Шавгулидзе // Обучение фрактальной геометрии и информатике в вузе и школе в свете идей академика А. Н. Колмогорова: материалы XVI Колмогоровских чтений: 3-й Международной научно-методической конференции, Кострома, 07–09 декабря 2021 года. – Кострома: Костромской государственный университет, 2021. – С. 82-87. – EDN OVLMFS.

2. Сологуб, Г.Б., Пухов, В.А. Проблемы классификации текстов естественного языка методами классического машинного обучения. // Моделирование и анализ данных, 2023. 13(2), С. 64–76. https://doi.org/10.17759/mda.2023130203

4. Choi, DongHyun & Spangher, Lucas & Hidey, Chris & Grabowski, Peter & Eskander, Ramy (2025). Revisiting Funnel Transformers for Modern LLM

Architectures with Comprehensive Ablations in Training and Inference Configurations. 10.48550/arXiv.2504.02877.

5. Казаченко А. В. Метод прогнозирования будущего с помощью причинности и пространства-времени Минковского [Электронный ресурс]. URL: https://nplus1.ru/news/2020/10/26/causal-future-prediction-and-minkowski-space-time (дата обращения: 04.07.2025)

6. Санников С. В. Семиотические аспекты лингвокультурного трансфера: к проблеме типологии формул передачи информации // Universum: Филология и искусствоведение. Электронный научный журнал. 2018. № 9 (55). URL: https://7universum.com/ru/philology/archive/item/6341 (дата обращения: 30.06.2025)

7. Валькман Ю. Р., Тарасов В. Б. От онтологий проектирования к когнитивной семиотике // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, № 1(27). С. 8–34. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-8-34

Foundations of the Theory of Signs/ Гаага: Мутон, 1971. (оригинал 1938 г.) https://doi.org/10.1515/css-2019-0001

8. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Синтаксический анализ. Том 2. Москва: Книга по требованию, 2012. ISBN 978-5-458-27407-4

MINKOVSKY SPACE AND SEMIOTICS IN MACHINE LEARNING: FROM TEXT MEANING TO VISUALIZATION AND EVENT PREDICTION

[1] Antonov V.V., [2] Palchevsky E.V., [1] Rodionova L.E.

([1]Ufa University of Science and Technology, [2] MIREA - Russian Technological University)

A new strategy for integrating elements of category theory and physical principles, such as Minkowski space, has been proposed to improve the accuracy and stability of the model. Additionally, a physical and mathematical approach has been introduced, where the model constructs causal graphs in Minkowski space, which enhances predictive analysis (e.g., generating sequential frames) and improves the logical coherence of multi-level responses. Overall, this solution demonstrates the potential for significant improvements in the quality of distance education and intelligent decision support systems.

УДК 004.738.5; 621.391

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ СЕНСОРНЫХ ДАННЫХ В СЕТЯХ ICN

Батыршина Я.А., Гребешков А.Ю.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Актуальность тематики работы обусловлена опережающим развитием отечественной инфраструктуры хранения, обработки и доставки информации, в том числе сенсорной информации от разнообразных устройств Интернета вещей, ИВ (Internet of Things, IoT), в рамках выполнения задач и целевых показателей, определенных в Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года. Новые тенденции в области инфокоммуникаций – виртуализация сетевых функций, облачные вычисления, мобильность пользователей, рост объемов трафика с учетом развития, прежде всего, сетей пятого и шестого поколений IMT-2020/IMT-2030 объективно требуют совершенствования методов управления информационными потоками сенсорных данных.

В перспективе очевиден рост потребностей пользователя в получении сведений с актуальным статусов и за разумное время предоставления контента. В этой связи пользователю и компьютерным системам требуется предоставлять доступ к контенту при одновременном обеспечении актуальности, совместимости и когерентности сенсорных данных, особенно в промышленных системах. При этом наличие актуальной информации требуется в то время, когда эта информация может повлиять на принимаемые решения по управлению, контролю и мониторингу. Требуется учитывать и то, насколько часто тот или иной фрагмент/домен данных необходимо обновлять. Совокупность рассмотренных факторов приводит к необходимости разработки новых методов управления информационными потоками сенсорных данных с учетом информационно-смысловой составляющей в виде семантики данных по области применения с учетом статуса актуальности контента.

Цель работы заключается в разработке метода эффективного управления информационными потоками с учетом обеспечения статуса актуальности и доступности сенсорных данных.

Для достижения цели работы в качестве объекта исследования используется информационно-ориентированная сеть, ИОС (Information-Centric Network, ICN) [1, 2], которая рассматривается как интеллектуальная сеть обработки информации. Благодаря использованию технологии виртуализации, сеть ICN независима от телекоммуникационных технологий передачи, что позволяет автоматически кэшировать или оперативно сохранять контент в любой точке физической сети, независимо от приложения конечного пользователя. Предметом исследования является метод управления потоками информации в сетях ICN с учетом семантической совместимости и актуальности статуса сенсорных данных. Разработанный метод включает способ поиска

информации с учетом семантики, способ и алгоритм маршрутизации для переноса и обработки информации с учетом сохранения статуса её актуальности.

Для семантически-обусловленного поиска информации в рамках разработанного метода предлагается использовать способ запроса и получения информации на основе предикатов первого порядка в виде схемы «запрос-ответ» (Рис. 1) на базе информационной модели, описанной в статье [3].

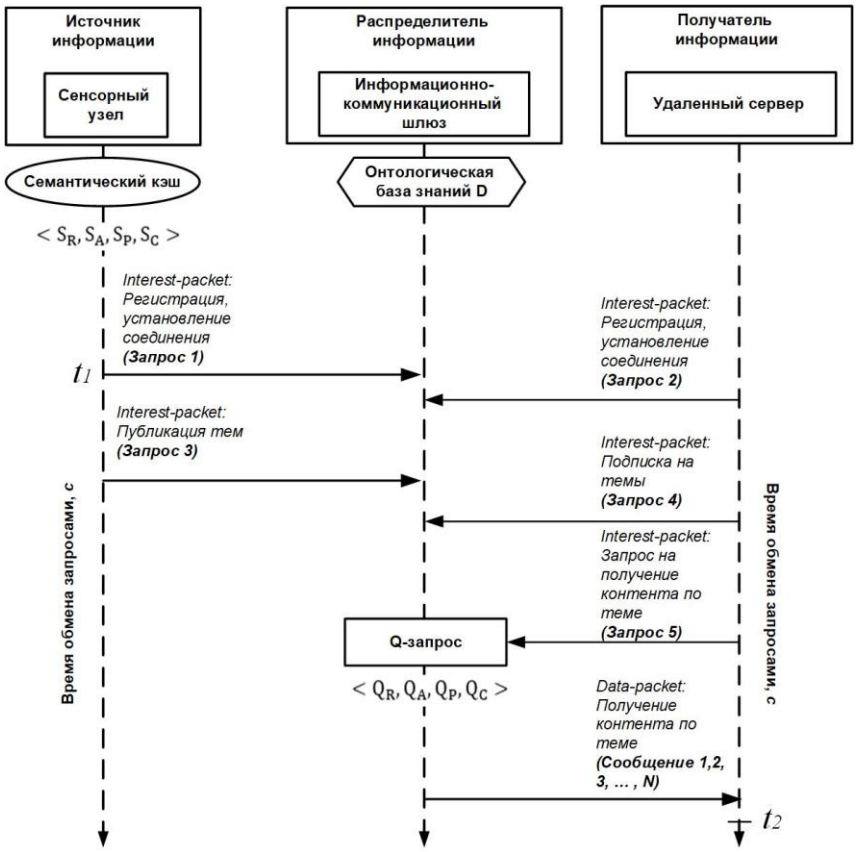


Рис. 1. Схема общего вида обмена сообщениями

На Рис. 1 в рамках разработанного способа используются информационный InP-пакет (Interest Packet) с описанием контента, интересующего пользователя и DP-пакет (Data Packet) т.е. собственно пакет данных. Для обработки запроса имеется распределитель информации в виде информационно–коммуникационного шлюза с поддержкой знаний о предметной области контента в виде онтологической базы знаний. Источники информации (сенсорные узлы или устройства ИВ) в качестве базы хранения актуального контента используют виртуальный семантический кэш, который имеет ограниченный объём и обновляется при поступлении актуального контента. Упорядочивание данных в семантическом кэше осуществляется на основе классификаторов в онтологической базе знаний предметной области. Разрабатываемая онтологическая база знаний D для области применения сенсорной сети состоит из набора базовых отношений $R_1, R_2, ..., R_n$ и определяется формулой [4]:

$$D = \{R_i, 1 \le i \le n\} \quad (1)$$

Семантический кэш с точки зрения запросов получателей информации определяется как набор семантических сегментов данных, где данные моделируются кортежем S по формуле (2):

$$\langle S_R, S_A, S_p, S_C \rangle \quad (2)$$

где $S_R \in D$; S_R – элемент для описания связей между данными (объектов данных); $S_A \subseteq A_{S_R}$, где S_A – элемент для описания атрибутов; S_p – предикаты, описывающие отношения между сущностями, например правила выбора объектов по запросу; S_C – количество сущностей данного типа в контенте, кэшируемого в ICN.

С точки зрения программной реализации получения запрашиваемого контента используется стандарт SPARQL. Запрос можно определить так же, как определяется семантический сегмент, то есть Q запрос имеет вид:

$$\langle Q_R, Q_A, Q_P, Q_C \rangle \quad (3)$$

На практике рассмотренный семантически-обусловленный поиск информации позволяет далее упорядочить и повысить точность (адресность) в процессе публикации/подписки на определенные темы в таком протоколе как MQTT.

Предлагаемый способ и алгоритм маршрутизации на основе эпидемии (epidemic base routing) для переноса и обработки информации с учетом сохранения статуса актуальности предполагает обновление кэш-памяти узлов ICN с помощью процесса информационной диффузии на основе детерминированной SIR-модели в виде системы обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений вида (4):

$$f(t,y) = \begin{cases} \dfrac{dS(t)}{dt} = \dfrac{-\lambda S(t) I(t)}{N} \\ \dfrac{dI(t)}{dt} = \dfrac{\lambda S(t) I(t)}{N} - \gamma I(t), \\ \dfrac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \end{cases} \quad (4)$$

где λ – скорость (интенсивность) распространения контента (узлов/час), γ – скорость, с которой кэш-память достигает предельного объёма (узлов/час); $S(t)$ – набор свободных узлов ИВ в составе ICN, на которые не были переданы данные с запрошенным именем; $I(t)$ – набор свободных узлов ИВ в составе ICN, на которые не были переданы данные с запрошенным именем; $R(t)$ – набор свободных узлов ИВ в составе ICN, на которые не были переданы данные с запрошенным именем; t – время распространения контента с актуальным статусом данных.

Получены результаты аналитического моделирования системы (4) на основе метода Рунге-Кутта 4-го порядка, а также результаты независимого дискретно-событийного моделирования в симуляторе NS-3. Результаты сравнения аналитических расчетов и результатов моделирования представлены на Рис. 2. Здесь исходные параметры модели имеют следующие значения: $\lambda = 3$ (узлы/час), $\gamma = 1{,}5$ (узлы/час), $t_0 = 0$ (начальный момент времени). Выбранные

параметры модели характеризуют условно «медленное» заражение/медленный вирус в виде актуального контента. Максимальное требование к плотности подключения для крупномасштабных сетей ИВ в составе 5G составляет 1000000 устройств на квадратный километр [5]. Для моделирования количество узлов уменьшено до $N = 10000$.

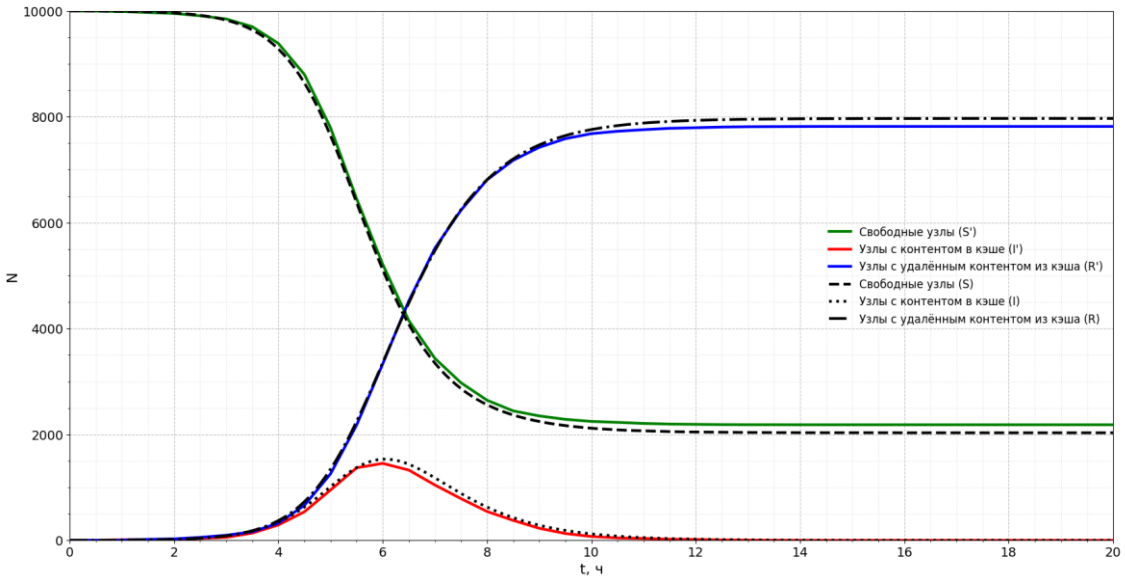


Рис. 2. Результаты сравнения аналитического и имитационного моделирования

Учитывается, что процесс распространения контента с актуальным статусом данных происходит только тогда, когда в сети есть хотя бы один узел, имеющий данный тип контента можно считать, что $S = 99999$; $I = 1$; $R = 0$. На Рис.2 показано, что S, I, R – кривые результата расчетов, $S^{'}$, $I^{'}$, $R^{'}$ – кривые результата моделирования. Для оценки (сравнения) аналитического и имитационного моделирования была определена средняя относительная погрешность, которая составляет $\Delta S = 4{,}5\%$, $\Delta I = 13{,}51\%$, $\Delta R = 6{,}1\%$, что является приемлемым с точки зрения использования результатов моделирования на реальных сетях контроля устойчивости строительных конструкций и погоды в «умном городе», системы контроля морских течений, систем контроля состояния почвы в «умном» сельском хозяйстве, систем контроля ледовой обстановки.

Таким образом, представленный метод управления информационными потоками сенсорных данных позволяет оценить изменение ситуационной осведомленности в сети ИВ в целом, и обеспечить информационную взаимосвязанность, а также единство задач, целей и стратегий управления на основе сенсорных данных с помощью ICN.

Кроме того, в результате представленного способа и алгоритма маршрутизации на основе информационной диффузии распространения контента также возможно прогнозировать размер информационного кэш-пространства узлов ИВ, чтобы оптимизировать производительность системы связи с точки зрения эффективного распределения ее инфокоммуникационных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommendation Y.3075. Requirements and capabilities of information-centric networking routing and forwarding based on control and user plane separation in IMT-2020. ITU-T, 2020.

2. Гребешков А.Ю., Батыршина (Боровская), Я.А. Построение информационно-ориентированных сетей 5G/ICN // Вестник связи, 2021. – № 11. – С. 13-17.

3. Батыршина Я.А. Разработка модели актуализации сенсорной информации в кэш-памяти узлов информационно-ориентированной сети // Автоматизация процессов управления, 2025. – № 2 (80). – С. 22-29.

4. Ravindran R., Chakraborti A., Amin S. O., Azgin A., Wang G. Realizing ICN in 3GPP's 5G NextGen Core Architecture // Computer Science, 2017. – P.1 – 7.

5. Report M.2410.0 Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). ITU-R, 2017.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CONTROLLING INFORMATION FLOWS OF SENSOR DATA IN ICN NETWORKS

Batyrshina Y.A., Grebeshkov A.Y.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The extended method was proposed, which uses an information model based on first-order predicates for sending and receiving messages. Additionally, an epidemic-based approach was proposed for updating sensory information in the cache memory of ICN nodes based on information diffusion.

УДК 681.128.56

ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МАТРИЧНОГО ТИПА

Виноградова И.Л., Султанов А.Х., Мешков И.К.
(Уфимский университет науки и технологий)

Сегодня развитие инфокоммуникационных технологий идет очень динамично, и разработка систем самодиагностики, а также средств прогнозирования их состояний отстают от развития самих средств связи [1]. Это приводит к необходимости применения моделирования и виртуализации. Но последнему свойственная такая специфика, как:

- многие задачи в системах связи и оптоволоконных коммуникаций в стандартной их постановке относятся к классу некорректных задач [1]);
- сложность учёта всех значимых влияющих факторов, снижающих работоспособность сети.

Основной целью моделирования является нахождение взаимосвязей между такими обобщающими параметрами, как критерии работоспособности, которые в определённой мере нормируются НТД, конструктивными параметрами узлового оборудования и линий передачи, зависящими от конкретно рассматриваемой системы телекоммуникаций, и информационными показателями сети. Окончательный результат, представленный в виде выработанной методики настройки оборудования под рассматриваемый конкретный случай, является критерием состоятельности моделирования («случай» здесь – это совокупность объекта, цели моделирования и положения объекта в системе телекоммуникаций). Такие методики должны содержать ответы на вопросы о том, можно или нельзя на данном сегменте установить то или иное сетевое приложение, какое изменение конструктивных параметров сети для этого потребуется, придётся ли производить дополнительный учёт каких-либо факторов, минимальную модернизацию, каковы при этом будут показатели работоспособности.

Отсутствуют «единые модели» как процессов приёма-передачи сигналов в сети, так и процессов на более высоких уровнях OSI. Необходимость моделирования процессов в телекоммуникационных системах представлена в [1, 2]. В ряде литературных источников, например, в [2], под моделированием в системе передачи понимается моделирование в волоконно-оптической линии передачи, т.е. фактически задача ставится в заметно более упрощенной формулировке. Последнее приводит к тому, что с одной стороны моделирование сводится к исследованию целостности оптоволоконного кабеля или степени влияния на сигнал искажающих факторов (прежде всего дисперсии и линейного затухания, пример – система автоматизированного контроля состояния оптических волокон Orion [2]). С другой стороны, такие вопросы, как изучение свойств процессов приёма-передачи (с учётом ряда особенностей сети, влияющих факторов) с целью получения методик настройки и согласования

оборудования, выработки оптимальных решений по резервированию, модернизации сетей и т.д. остаются в стороне вовсе.

Задачей моделирования является не только текущий анализ, но и прогнозирование ее состояния. Актуальность последнего надо рассматривать не только в узком кругу задач, посвящённых, например, оценке пропускной способности и сетевой нагрузки, ожидаемой в ближайшем будущем. Под прогнозированием в сети связи следует понимать оценку развития во времени всех показателей работоспособности с задаваемой в задаче с некоторой вероятностью. Применительно к системам телекоммуникаций к настоящему моменту подобная постановка задачи отсутствует. Закреплённые же в нормативных документах понятия помехоустойчивости и особенно надёжности систем передач носят весьма поверхностный характер, что не позволяет наблюдать за системой во времени и оптимальным образом осуществлять какие-либо мероприятия, направленные на поддержание надёжности отдельных составляющих, выявлять точки (области) деградации качества и т.д. Главным отличием «моделирующего вычислительного полигона» от всевозможных имеющихся уже средств анализа и диагностики телекоммуникационных систем (встроенных средств, виртуальных приборов, распределённой системы тестирования, например, объединённой с Telecom Management Networks (TMN)) является смещение в сторону углубленного использования математических и физических аналитических моделей.

Хорошо это или плохо? Очевидно, что «вычислительный полигон» – это не более, чем очередная ниша во всём комплексе телекоммуникационных средств диагностики. Широкое применение аналитических моделей (с вытеснением реальных измерений и приборов) имеет главным недостатком возможность неадекватно отражать реальные процессы – ошибаться из-за недоучёта каких-либо факторов. Однако к достоинствам указанного можно отнести следующее. Во-первых, это снижение стоимости диагностирующего комплекса (программное обеспечение стоит дешевле реальных приборов), во-вторых, возможность прогноза, в-третьих, возможность быстрого получения результатов (например, что в системе синхронизации (ТСС) из-за высокой точности требуется, как правило, длительное время для получения результатов измерений – до нескольких месяцев). Цель моделирования состоит в нахождении оптимального пути модернизации сети (либо проектировании вновь вводимого в эксплуатацию сегмента). Первым этапом в такой задаче является выбор технических средств и системы протоколов (включая способы сигнализации и коммутации). Второй этап требует решения совокупности взаимосвязанных задач, к которым относятся: оптимизация топологической структуры и пропускной способности каналов связи, выбор маршрутов, методов управления потоками, стратегии буферизации при перегрузках и т.д. Формально задачу проектирования можно свести к отысканию минимума функционала некоторой приведённой стоимости:

$$C\left(\vec{\Omega}, \vec{Y}, \vec{U}\right) \rightarrow \min \qquad (1)$$

при наличии ограничений на вероятностно-временные и структурные характеристики сети:

$$V_i\left(\vec{\Omega}, \vec{Y}, \vec{U}\right) \le V_{i0},\ i = 1 \ldots N \qquad (2)$$

и требований принадлежности множества вариантов аппаратно-архитектурных решений сети $Q\left(\vec{\Omega}, \vec{Y}, \vec{U}\right)$, удовлетворяющих ограничениям (2), к области технически реализуемых решений:

$$Q\left(\vec{\Omega}, \vec{Y}, \vec{U}\right) \in Q_0. \qquad (3)$$

Здесь $\vec{\Omega}$ - вектор совокупности параметров технических средств, включая их параметры надёжности, помехоустойчивости (обеспечивающие достоверность передачи информации, в том числе физических линий связи), производительность узлов коммутации и каналообразующей аппаратуры; $\vec{Y}$ - вектор параметров логической структуры сети (определяемый типом сигнализации, системой уплотнения каналов, способом организации набора виртуальных топологий на базе заданной физической архитектуры, [2]); $\vec{U}$ - вектор параметров передаваемых сигналов, отражающий интенсивности потоков сообщений между каждой парой узлов коммутации, способы передачи информации (коммутация каналов, пакетов, сообщений, [2]), параметры сетевой нагрузки, приоритетность сообщений, распределения длин пакетов и т.д.

Очевидно, что качество проектирования может быть достигнуто только тогда, когда отдельные методы и модели объединены на основе системного подхода в единую систему проектирования. Однако практическая невозможность постановки и решения в рамках единой задачи всего комплекса проблем проектирования приводит к необходимости использования процедуры, основанной на декомпозиции, что снижает эффективность получаемых решений.

Общая задача моделирования процессов в сети представляет технический интерес как в прямой постановке, рис. 1, а) – нахождение значений показателей работоспособности исходя из имеющихся конструктивных параметров аппаратных средств и линейных сооружений, так и в обратной, рис. 1, б) – определение вектора подстройки этих конструктивных параметров для обеспечения требуемых показателей работоспособности. Задав реальную сеть в виде некоторого объекта, рис. 1, и его передаточную функцию преобразования, можно определить параметры выходных сигналов, если известны параметры входных сигналов.

Так если мы произвели моделирование действия возмущающих факторов и процесса преобразования сигналов, подаваемых на вход системы телекоммуникаций, то можно находить те или иные характеристики выходных сигналов для различных входных. Тем самым, изменив входные параметры (отражающие изменённую систему передачу), оператор в результате вычислений будет получать значения показателей работоспособности сети по отношению к рассматриваемому случаю. Это позволяет проводить исследования о возможности установления на данной конкретной сети какого-либо приложения, увеличения битовой скорости и т.д. Сравнивая полученные значения с

регламентируемыми НТД, оператор будет определять возможность решения той или иной телекоммуникационной задачи с использованием этой конкретной телекоммуникационной системы.

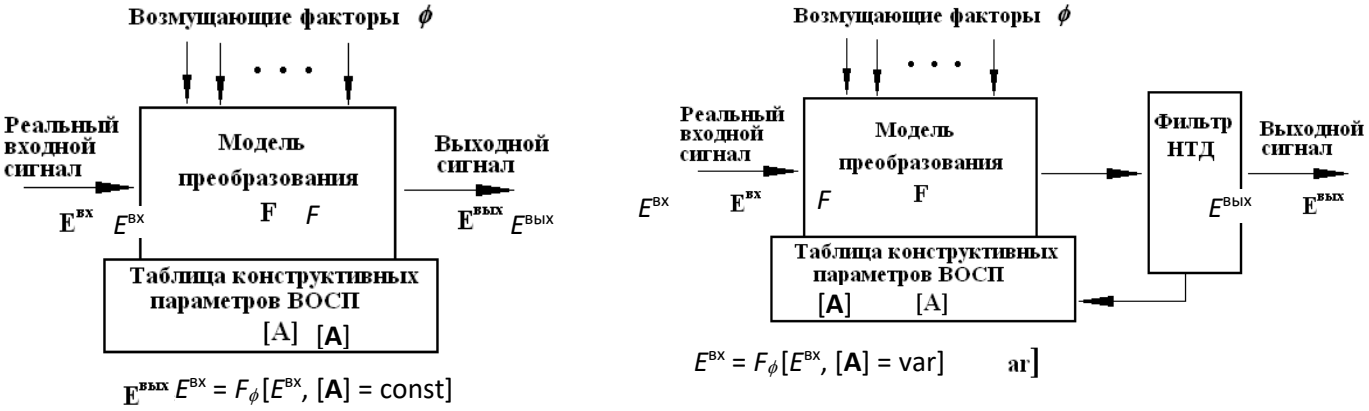


Рис. 1. Постановка задачи моделирования: прямая (а) и обратная (б) задачи

В представленной постановке моделирование несёт и определённый аналитический смысл. Именно решением прямой задачи можно установить адекватность разработанных моделей процессов преобразования сигналов в сети, адекватность моделирования искажающих факторов и их влияние на процесс приёма-передачи и т.д. Здесь предполагается, что результат, полученный вычислительным путём, может быть сравнен с результатами реальных измерений и данными из эксплуатации.

Оператора может интересовать не только ответ типа «можно или нельзя» решить ту или иную телекоммуникационную задачу, а *что именно надо сделать с минимальными затратами финансовых и рабочих ресурсов, для того чтобы решить* поставленную телекоммуникационную задачу *на данной сети*. Здесь обозначается постановка обратной задачи: если заданы характеристики входных сигналов, модель влияющих факторов и искажений, которые практически не поддаются какому-либо управлению и изменению (иначе искажающие факторы были бы исключены), модель процесса преобразования сигналов в сети, то каковы должны быть конструктивные параметры последней для того, чтобы характеристики получаемых выходных сигналов оставались в установленных НТД пределах, рис. 1, б). В результате решения такой задачи оператор получает рекомендации по изменению конструктивных параметров своей телекоммуникационной системы, которая обеспечит решение поставленной телекоммуникационной задачи с требуемым качеством и надёжностью. Так можно говорить о применении физического, математического и компьютерного моделирования для настройки сети.

Следует подчеркнуть, что имеют место определенные аналогии между явлениями и процессами различной природы, свойственные различным уровням OSI в телекоммуникациях. Это позволяет построить единую модель, рис. 2, в которой можно одновременно рассматривать параллельно протекающие процессы с самыми разными *Значимыми Компонентами Технологий*.

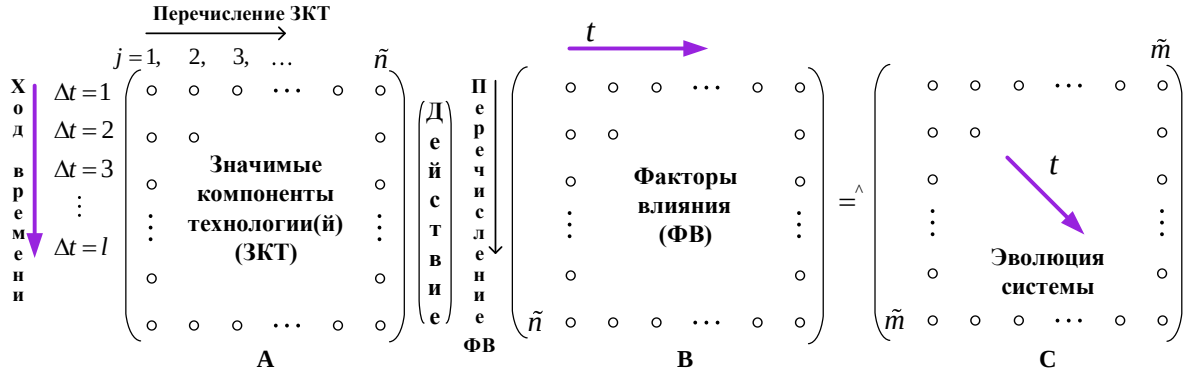


Рис. 2. Сечение пошаговой структуры общего моделирования системы связи Принцип формализованного описания процессов в конвергентной сети с единой позиции; величина $\tilde{m}$ зависит от Действия; если между A и B стоит произведение, то в общем случае возможно $\tilde{m} = \infty$

Таким образом, предложенный подход позволяет рассматривать процессы в конвергентной сети с единой и системной позиции, что способствует всестороннему восприятию всей картины развития, а не фокусированию только на отдельных компонентах. На его основе можно создать вычислительный полигон, моделирующий процессы в сетевых технологиях, что позволяет обеспечить оптимальное соотнесение и согласованность составляющих и параметров конвергентной сети. Такой подход даст возможность формулировать и задавать необходимую траекторию развития и эволюцию сети, способствуя более эффективному управлению и планированию ее модернизации в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. М.: Эко-Трендз, 2000. 148 с. URL: https://reallib.org/reader?file=484336 (дата обращения: 20.01.2025 г.)

2. Бакланов, И. Г. ИКМ/PDH/SDH/ATM: технология и практика измерений. - М.: Изд-во ЭКО-ТРЕНДЗ, 2009. - 348 с.

FORMALIZATION OF CONVERGENT COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON ALGEBRAIC OBJECTS OF MATRIX TYPE

Vinogradova I.L., Sultanov A.Kh., Meshkov I.K.
(Ufa University of Science and Technology)

The formalized description of convergent communication systems is essential to enable their accurate modeling from a unified perspective, facilitating comprehensive understanding of their operational processes and development trends. A matrix-based approach is proposed, introducing two new concepts: Significant Components of Technologies (SCT) and Factors of Influence (FI). Additionally, a novel type of mathematical operations is described within this framework. The algebraic structure formed by these operations and matrix objects is shown to constitute a closed ring, ensuring mathematical consistency and robustness of the modeling methodology.

Секция 1. Общие проблемы передачи и обработки информации

УДК: 621.397.44

ИИ В ВИДЕОНАБЛЮДЕНИИ СЕГОДНЯ

Кирпичникова М.Ю.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы видеонаблюдения на современном этапе развития информационных технологий перестали выполнять исключительно функцию записи видеоизображений. В настоящее время они трансформировались в интеллектуальные комплексы, интегрирующие алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) для автоматического анализа происходящего в кадре. Такие системы способны обнаруживать людей и транспортные средства, выполнять идентификацию лиц, отслеживать траектории движения объектов, а также выявлять аномальное или потенциально опасное поведение.

Ключевым направлением применения ИИ является автоматическое обнаружение объектов. Традиционные алгоритмы компьютерного зрения имели ограниченную применимость из-за зависимости от условий освещения и качества изображения. Современные нейросетевые архитектуры (YOLO, RT-DETR) обеспечивают обработку потокового видео в реальном времени с высокой точностью локализации объектов. Эти технологии внедряются в городские системы наблюдения, транспортные комплексы, торговые центры и промышленные предприятия, позволяя операторам концентрироваться исключительно на критически важных событиях [2].

Задача многобъектного отслеживания имеет высокую актуальность. Алгоритмы трекинга обеспечивают сохранение идентичности объектов даже при пересечении их траекторий в условиях плотного движения. Примером является метод ByteTrack, демонстрирующий высокую точность удержания траекторий и минимизацию ошибок идентификации. Применение таких решений востребовано в транспортных системах для анализа маршрутов движения автомобилей и выявления нарушений правил дорожного движения [2].

Особое внимание уделяется задаче распознавания лиц. Согласно исследованиям Национального института стандартов и технологий США (NIST), точность подобных систем значительно возросла за последние годы. На практике они используются для контроля доступа, верификации личности и поиска пропавших граждан. Однако сохраняются проблемы, связанные с различиями точности для демографических групп, что требует дальнейшей доработки алгоритмов в контексте справедливости и качества [1].

ИИ также активно используется для выявления аномалий. Системы способны фиксировать падения, подозрительное поведение и несанкционированный доступ в охраняемые зоны. Подобные функции актуальны как для обеспечения общественной безопасности, так и для медицинских учреждений и домов престарелых, где требуется оперативное реагирование на инциденты, связанные со здоровьем пациентов.

Наряду с технологическим прогрессом возрастают требования к регулированию применения ИИ. В 2024 году в Европе вступил в силу AI Act, определяющий строгие правила использования подобных систем. Особый акцент сделан на биометрическую идентификацию в реальном времени, применение которой в общественных местах допускается лишь в исключительных случаях. Таким образом, технологические достижения должны рассматриваться сквозь призму правовых и этических ограничений [1].

В заключение следует отметить, что ИИ в системах видеонаблюдения формирует новый уровень безопасности и комфорта. Несмотря на стремительное развитие технологий, их внедрение должно сопровождаться балансом между эффективностью и защитой прав человека. Именно этот баланс определяет перспективы дальнейшего развития и применения интеллектуальных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. European Parliament. Artificial Intelligence Act: first regulation on AI. – 2025. – Режим доступа: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines /society/20250201STO15502/ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence> (дата обращения: 30.08.2025).

2. Zhang Y., Sun P., Jiang Y. и др. ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box // European Conference on Computer Vision (ECCV). – Cham: Springer, 2022. – P. 1–21. – DOI: 10.1007/978-3-031-20044-1_1.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VIDEO SURVEILLANCE TODAY

Kirpichnikova M.Yu.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

Overview of artificial intelligence applications in video surveillance, including object detection, tracking, face recognition, anomaly detection, and regulatory aspects.

УДК 004.912

ФОРМИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА ДАТАСЕТА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЖАЛОБ

Мерзляков Н.Р.
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Ключевым фактором, определяющим эффективность интеллектуальных систем обработки естественного языка, является качество и релевантность обучающих данных. Разработка любой модели, включая ансамблевые методы, невозможна без тщательно подготовленного набора данных. Особую актуальность это приобретает в сфере обработки обращений граждан в органы муниципальной власти, где тексты характеризуются крайней неструктурированностью, тематическим разнообразием и наличием специфической лексики. Именно поэтому создание специализированного набора данных, отражающего реальные языковые особенности таких обращений, становится критически важным этапом для создания интеллектуальной системы обработки жалоб.

Ключевая задача заключается в разработке и внедрении многоуровневой системы обработки текстовых обращений, которая, несмотря на наличие в обращениях орфографических погрешностей, эмоционально маркированных формулировок, элементов неформальной лексики и локализованных географических указаний, гарантированно сохраняет и выделяет суть проблемы, изложенной гражданином. Данный метод подходит для современных тенденций в области обработки естественного языка, где ключевой задачей является смысловая целостность при объединении разнородных текстовых данных. [1].

Для решения этой проблемы был разработан и применен комплексный подход к созданию датасета, включающий следующие этапы:

1. Сбор и первичная агрегация данных: Формирование исходного базиса сообщений из реальных обращений граждан в органы муниципальной власти.
2. Разметка и категоризация: Каждый текст жалобы был отнесен к одной или нескольким предопределенным тематическим категориям (например, «ЖКХ», «Потребительский рынок», «Архитектурный отдел»), а также снабжен метками указывающими на конкретные проблемы (например, «мусор», «шум», «вода»). Это формирует основу для обучения модели многоклассовой и мультилейбл-классификации [2].
3. Предобработка и очистка: Проведена нормализация текстов, включающая приведение к нижнему регистру, удаление лишней пунктуации и замену конфиденциальной информации на универсальные токены. Данная мера направлена на повышение анонимности данных и предотвращение переобучения модели на частные случаи.
4. Стандартизация целевых переменных: Проведена работа по унификации формулировок меток для устранения дубликатов и разночтений [2].

В результате был сформирован структурированный набор данных, готовый для задач векторизации последующего обучения моделей. Его ключевыми характеристиками являются репрезентативность, отражающая реальный язык обращений, и качественная разметка, обеспечивающая высокий потенциал для достижения требуемых показателей точности классификации текста. Данный набор данных является фундаментом для следующего этапа работы – непосредственной реализации и тестирования NLP-модуля системы.

Следует особо подчеркнуть, что в соответствии с принципами защиты персональных данных и обеспечения конфиденциальности граждан, формируемый массив текстовых обращений не подлежит публикации в открытом доступе или передаче третьим лицам. Данное ограничение обусловлено необходимостью строгого соблюдения законодательных требований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хобсон Лейн, Ханнес Хапке, Коул Ховард. Обработка естественного языка в действии.: Практическое руководство. — СПб.: Питер, 2020. — 576 с. — (Серия «Для профессионалов»). ISBN 978-5-4461-1371-2
2. Батура Т.В., Бакиева А.М. Методы и системы автоматического реферирования текстов.: Монография. — Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. — 110 с. ISBN 978-5-4437-0974-1

FORMATION AND PREPARATION OF A DATASET FOR AN INTELLIGENT SYSTEM FOR CLASSIFYING COMPLAINTS

Merzlyakov N.R.
Volga State University of Telecommunications and Informatics

The article is devoted to the development and preparation of a dataset for an intelligent system for classifying citizens' complaints to municipal authorities. The key role of the quality of training data for the effectiveness of NLP systems is emphasized, especially in the conditions of unstructured, thematically diverse texts with the presence of specific vocabulary.

The stages of creating a dataset are described:

- Collection of real citizens' appeals.
- Marking by thematic categories (housing and communal services, consumer market, etc.).
- Text preprocessing: normalization, cleaning, anonymization.
- Standardization of labels to eliminate duplicates.

The result is a representative and well-labeled dataset suitable for training classification models. Compliance with privacy and personal data protection requirements is ensured.

УДК 621.396.96

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЛОКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ КАНАЛА СВЯЗИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ

Закиров Э.И., Козлов С.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

Актуальным направлением применения информационного поля является локация объектов. Один из вариантов решения этой задачи, программная реализация которого представлена в [1], основан на анализе в точке приема совокупности сигналов от нескольких передающих устройств. Описанный в работе алгоритм для получения достоверной оценки положения объектов требует учета большого количества сигналов. В данной работе рассматривается альтернативный подход, основанный на анализе импульсной характеристики (ИХ) канала связи и позволяющий снизить необходимое число анализируемых сигналов.

Согласно [2], канал связи может быть описан ИХ, которая определяется совокупностью лучей, распространяющихся из передатчика в точку расположения приемника. В процессе распространения лучи взаимодействуют с объектами информационного поля. На ИХ оказывают влияние как объекты информационного поля с известными координатами и размерами, нанесенные на 3D карту, так и отсутствующие на карте объекты – объекты локации. Следовательно, решение задачи локации состоит в выделении из ИХ канала составляющей, которую вносят объекты локации. В таком случае для объектов информационного поля, нанесенных на 3D карту, необходимо разработать адекватную модель, достоверно описывающую ИХ реального канала связи.

Расчет ИХ канала с использованием модели трассировки лучей, определяемых методом зеркальных изображений, на основе 3D карты местности был реализован в программном комплексе NetMAPEditor [3]. Для проверки адекватности рассчитанной в нём ИХ был проведен эксперимент с использованием векторного анализатора цепей FSH-8 фирмы Rohde & Schwarz. Измерение ИХ канала шириной 1ГГц проводилось в помещении кафедры РТС. На рис. 1 показана измеренная ИХ канала связи, а также рассчитанные задержки лучей, обозначенные черными штриховыми линиями.

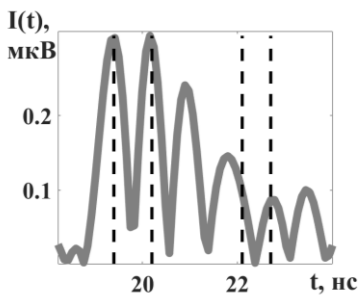


Рис. 1. Экспериментальная ИХ с указанием времен задержек рассчитанных по модели лучей

Как видно на рис. 1, реализованная с применением метода зеркальных изображений модель трассировки лучей не позволяет получить все лучи, формирующие реальную ИХ канала. Следовательно, для создания адекватной модели, достоверно описывающей ИХ реального канала связи, необходимо рассмотреть альтернативные методы построения модели трассировки лучей, такие как метод возбуждения лучей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закиров Э. И., Кузнецов А. С., Козлов С. В. Разработка пассивного метода и алгоритма локации объектов в информационном поле // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 3 (63). С. 15-24. DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2024.3.15; EDN: GQPEXY

2. Рекомендация МСЭ-R P.1238-12 «Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зоновых радиосетей в диапазоне частот 300 МГц – 450 ГГц» Электронная публикация. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-12-202308-I!!PDF-R.pdf

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663931 Российская Федерация. Программа NetMAPEditor: № 2019662376: заявл. 08.10.2019: опубл. 25.10.2019 / С. В. Козлов, Е. А. Спирина; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ". – EDN IRYEDE.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR LOCATING OBJECTS BY COMMUNICATION CHANNEL PARAMETERS IN THE INFORMATION FIELD

Zakirov E. I., Kozlov S. V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI)

The paper discusses the concept of using channel impulse response for locating objects in the information field. It compares the measured impulse response with the one calculated using ray tracing.

УДК 681.518.22:681.586:519.85

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРТОРА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДАТЧИКА NTC 10K 3950

Сибутин А.В., Гендель С.М., Карташевский И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Разработанный конвертер аналоговых сигналов [1] представляет из себя устройство под управлением микроконтроллера STM-32, он обрабатывает получаемые значения напряжения с датчиков и передаёт их на контроллеры системы АСУ ТП в виде дискретного сигнала. Плата устройства представлена на рисунке 1.

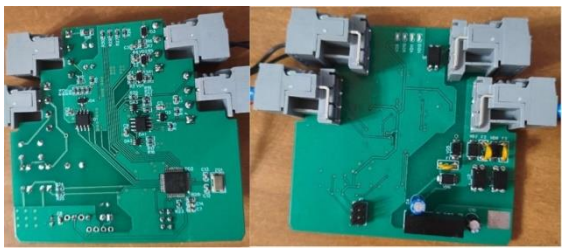


Рис. 1. Плата устройства

Для обработки полученных значений напряжения используются математические функции. Исходные математические модели, как уравнение Стейнхарта-Харта, достаточно объемны и затратны при вычислении, что может оказывать влияние на быстродействие микроконтроллера. Для решения этой проблемы предлагается упростить вычисления приведя исходные математические функции к более простому степенному виду.

Так, воспользовавшись аппроксимацией полиномом третьей степени для уравнения Стейнхарта-Харта, мы получим выражение такого вида:

$$y(x) = 101{,}116 - 79{,}32 \cdot x + 28{,}624 \cdot x^2 - 5{,}17 \cdot x^3,$$

где x – напряжение на входе АЦП.

На рисунке 2 представлены графики для исходной модели и её аппроксимации.

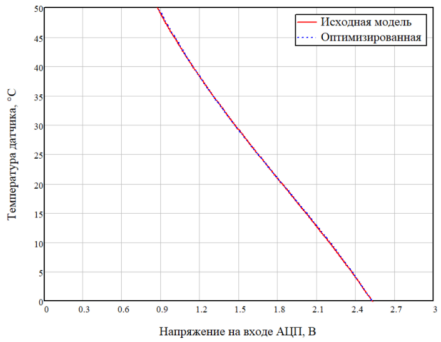


Рис. 2. Графики исходной и аппроксимированной модели

Далее необходимо провести экспериментальные замеры, в ходе которых будут получены значения напряжения на измеряемом интервале 0-50 °C.

Графики полученных значений, включая исходную модели и аппроксимации, представлены на рисунке 3.

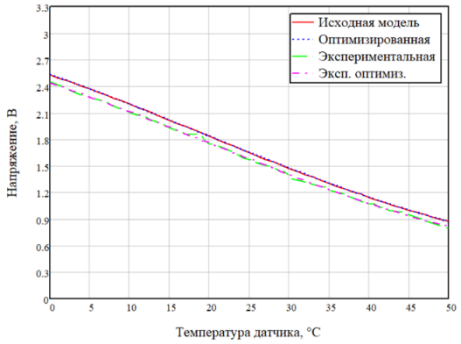


Рис. 3. Графики зависимостей

Проведя эксперементальные измерения, мы приходим к переопределению коэффициентов полинома, итоговый вид математической функции для определения температуры выглядит следующим образом:

$$temp_ntc(x) = 92{,}553 - 69{,}347 \cdot x + 23{,}998 \cdot x^2 - 4{,}571 \cdot x^3,$$

где x – напряжение на входе АЦП.

Таким образом была получена функциональная зависимость температуры от напряжения на входе АЦП микроконтроллера. При использовании скорректированного полинома точность измерений температуры возросла на 4,27%, относительно исходной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихтциндер, Б. Я. Конвертор аналоговых величин для передачи по дискретному каналу / Б. Я. Лихтциндер, А. В. Сибутин // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024: Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 108-109. – EDN FWXDRZ.

DETERMINATION OF MATHEMATICAL PARAMETERS OF ANALOG SIGNAL CONVERTER FOR MEASURING TEMPERATURE OF NTC SENSOR 10K 3950

Sibutin A.V., Handel S.M., Kartashevsky I.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article discusses the definition of mathematical parameters of the analog signal converter. The article describes the transformation of the computationally complex Steinhart-Hart model using a third-degree polynomial for a given temperature measurement interval, with the correction of the polynomial coefficients after experimental measurements.

УДК 681.518.22:681.586:519.85

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРТОРА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ДАТЧИКА NTC 10K 3950

Сибутин А.В., Гендель С.М., Карташевский И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для постановки эксперимента по измерению напряжения, получаемого с датчика, был использован опытный образец конвертора аналоговых сигналов [1], датчик NTC 10k 3950, а также термостат и приемник сигнала.

Для проведения исследований была реализована экспериментальная установка, предназначенная для изучения температурных характеристик исследуемого датчика.

Эксперимент осуществлялся следующим образом. Датчик предварительно фиксировался в рабочем положении и погружался в жидкостную среду термостатируемой ёмкости. В качестве термостата использовалась установка с возможностью регулировки температуры в широком диапазоне и с высокой степенью стабильности. Перед началом измерений на панели управления термостата задавалось требуемое значение температуры. После этого установка выдерживалась в течение определённого промежутка времени, необходимого для достижения стационарного теплового режима и выравнивания температуры во всём объёме рабочей жидкости.

Выходной сигнал датчика в виде электрического напряжения регистрировался после установления теплового равновесия. Снятое напряжение измерялось в вольтах и передавалось на приёмное устройство посредством конвертора с точностью до десятитысячных.

Температурный диапазон проведения эксперимента был выбран от 0 до 50 °C. В ходе эксперимента температура изменялась дискретно с заданным шагом в 1 градус, при каждом новом значении обеспечивалось достаточное время выдержки до полного установления стационарных условий. Такой подход позволял исключить влияние переходных процессов и случайных колебаний на результаты измерений, а также повысить воспроизводимость полученных данных.

Таким образом, проведённый эксперимент обеспечил получение достоверных зависимостей выходного напряжения исследуемого датчика от температуры в контролируемых условиях.

По итогу эксперимента была получена зависимость напряжения от температуры на реальном датчике. Воспользовавшись аппроксимацией полиномом третьей степени для полученных значений, приходим к формуле определения напряжения от температуры:

$$U(t) = 2,434977 - 0,029442 \cdot t - 0,000325 \cdot t^2 + 0,000005 \cdot t^3,$$

где t – температура датчика.

На рисунке 1 представлены полученные графики зависимостей.

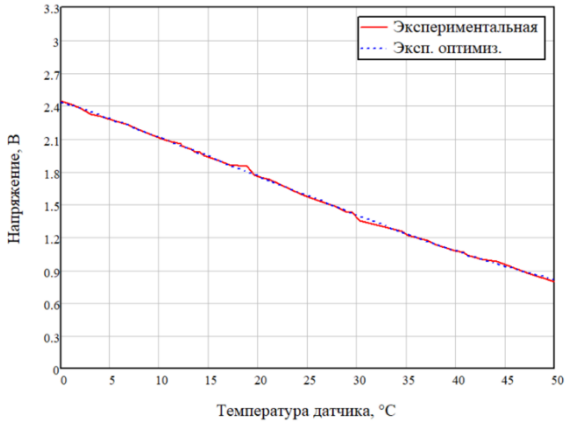


Рис. 1. Графики зависимостей напряжения от температуры

Коэффициент корреляции для выбранной функции аппроксимации исходной зависимости полиномом третьего порядка составил 0,(9). Также были произведены измерения с использованием полинома для вычисления значений температуры:

$$temp_ntc(x) = 92{,}553 - 69{,}347 \cdot x + 23{,}998 \cdot x^2 - 4{,}571 \cdot x^3,$$

где x – напряжение на входе АЦП.

Измерения проводились при поддерживаемой температуре в 23,8 °C, а итоговые значения фиксировались на приёмнике, подключенном к конвертору. По итогам серии измерений средняя ошибка составила 1,38 %, медианная ошибка составила 0,08 °C, математическое ожидание для выборки составило 23,88 °C, таким образом выборочная дисперсия составляет 0,1774 °C^2, а среднеквадратичное отклонение 0,4212 °C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихтциндер, Б. Я. Конвертор аналоговых величин для передачи по дискретному каналу / Б. Я. Лихтциндер, А. В. Сибутин // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024: Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 108-109. – EDN FWXDRZ.

SETTING UP AN EXPERIMENT TO CORRECT THE MATHEMATICAL PARAMETERS OF THE CONVERTER OF ANALOG SIGNALS RECEIVED FROM THE NTC 10K 3950 SENSOR

Sibutin A.V., Handel S.M., Kartashevsky I.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article discusses the formulation of an experiment to correct the mathematical parameters of an analog signal converter. An experiment was carried out during which the voltage dependence on temperature was obtained for the sensor used, and a series of measurements was carried out to determine the parameters of measurement accuracy.

УДК 681.7.068

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИВНОГО СОВМЕЩЕНИЯ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Диязитдинова А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При совмещении изображений существует проблема, связанная с высокой вычислительной сложностью. Это утверждение справедливо, как к методикам совмещения непосредственно по фрагментам изображений, так и при предварительном сопоставлении особых точек (точек интереса). Целью работы является сокращение вычислительной сложности за счет уменьшения количества гипотез. Возможные диапазоны изменения параметров определяют количество гипотез. Идея заключается в предварительной оценке диапазона изменения параметров по ограниченной выборке фрагментов. Результатом работы будет являться усовершенствованная методика проективного совмещения, отличающаяся от исходной методики более низким временем обработки с сохранением точности. Практическое значение заключается в сокращении времени обработки и возможности применения методики в системах технического зрения реального времени. Например, в системах видеонаблюдения беспилотных летательных аппаратов для обнаружения движущихся объектов.

Вопросы быстродействия обработки изображений являются актуальными сейчас, и будут являться актуальными еще долгое время. Связано это с тем, что объем данных, содержащихся в изображении велик, а вычислительных мощностей современных процессоров не хватает.

Наиболее востребованные операции, такие как обнаружение, распознавание и совмещение, выполняются в режиме реального времени только, если на задачи накладываются ограничения, которые существенно сокращают вычислительные операции. Например, на изображение искомого объекта накладываются ограничения по размеру, ориентации и положению. Если же таких ограничений нет, то скорость обработки уменьшается. Такие алгоритмы ориентированы на так называемые системы постобработки.

Для решения проблемы высокой вычислительной сложности разрабатываются методы и алгоритмы, позволяющие сократить размерность данных, уменьшить количество гипотез, использовать простые метрики, обладающие низкой вычислительной сложностью. Если рассмотреть существующие подходы к совмещению, то можно выделить два основных направления:

– прямое сравнение изображений (или их фрагментов);

– косвенное сравнение с помощью особых точек и так называемых дескрипторов (описателей яркостных характеристик изображений).

Если не учитывать вопросы помехоустойчивости, то при прочих равных условиях, совмещение на базе особых точек обеспечивает более высокую

скорость обработки. Однако существует один недостаток. У этих методов он связан с тем, что обработка фрагмента изображения для формирования дескриптора очень сложная, так как учитываются возможность трансформации масштабирования и угла поворота. Такая обработка проводится для каждого фрагмента, соответствующего особой точке. Если рабочий диапазон трансформаций масштабирования и угла поворота ограничить, то время расчета дескриптора можно уменьшить. Для оценки рабочих диапазонов достаточно использовать ограниченную выборку фрагментов.

На базе этой идеи разрабатывается методика для проективного совмещения изображений. На рис. 1 показан пример оценки диапазонов изменения масштаба и угла поворота для изображения местности, снятых беспилотным летательным аппаратом.

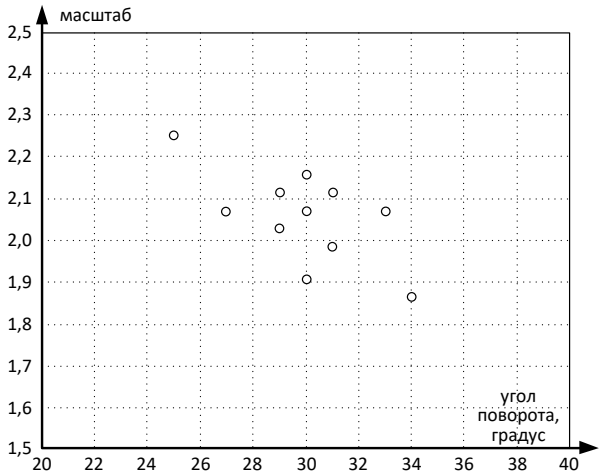


Рис. 1. Оценка диапазонов изменения масштаба и угла поворота

ENHANCEMENT METHOD FOR IMAGES HOMOGRAPHY SUPERPOSITION

Diyazitdinova A.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

There is a problem associated with high computational complexity for images superposition. The aim of the work is to reduce the computational complexity by reducing the number of hypotheses that determine the possible ranges of parameter changes. The idea is to preliminarily estimate the range of parameter changes based on a limited sample of fragments. The result of the work will be an improved method of projective matching, which differs from the original method by a lower processing time while maintaining accuracy. The practical significance lies in the reduction of processing time and the possibility of using the method in real-time technical vision systems.

УДК 004.415.23

СЕРВИСНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Кузьмин Д. А., Стефанова И.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные программные комплексы представляют собой распределенные системы, чья производительность и отказоустойчивость напрямую влияет на пользовательский опыт и репутацию копании. Это обуславливает критическую важность интеграции нагрузочного тестирования в жизненный цикл разработки.

Так появились различные проприетарные платформы для решения подобной задачи, такие как Micro Focus Load Runner Enterprise, Tricentis NeoLoad и BlazeMeter, которые предоставляют полный цикл тестирования – от оркестрации инфраструктуры до углубленного анализа результатов. Однако использование подобных коммерческих решений сопряжено со значительными финансовыми затратами, ограничениями по кастомизации и привязкой к конкретному вендору.

Альтернативой предлагается концепция Platform as a Service на основе open-source решений, где платформа представляет собой единый программный комплекс, обеспечивающий автоматизацию нагрузочного тестирования. В отличие от набора разрозненных инструментов, такая платформа реализует идеологию единой службы (unified service), предоставляя согласованный API, централизованное управление тестами, оркестрацию ресурсов в различных средах, сбор и корреляцию метрик/логов, а также анализ результатов с возможностью выявления аномалий.

Архитектура предлагаемой платформы построена по модульному принципу и включает следующие компоненты, интегрированные в единый комплекс [1, 2].

Компоненты платформы:

– Сервис оркестрации – точка взаимодействия пользователя с платформой, также является центральным узлом, который представляет собой единый API, для взаимодействия с платформой;

– Тестовый модуль – представляет собой компонент, который запускает/останавливает тесты, хранит информацию о них. Состоит из API для взаимодействия со средами, на которой будут запускаться нагрузочные скрипты, базы данных для хранения информации по тесту и S3 Object Storage для хранения артефактов теста;

– Модуль сбора логов – компонент, при помощи которого происходит сбор логов с нагрузочных станций, агрегированную информацию в котором затем можно использовать для поиска ошибок в тестах. В качестве такого инструмента можно использовать Elasticsearch для хранения данных, Logstash для сбора и базовой обработки логов и Kibana для фильтрации и поиска;

– Модуль сбора метрик – компонент, благодаря которому происходит хранения данных теста на основе VictoriaMetrics\Prometheus\Influx DB стека [3];

– Модуль анализа данных – модуль, в котором происходи взаимодействие с AI-агентом для выявления аномалий и сравнительного анализа.

Платформа Platform as a Service с предустановленными настройками поможет быстро и эффективно решать задачи автоматизации нагрузочного тестирования путём автоматизации рутинных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клеппман М. Высоконагруженные приложения: программирование, масштабирование, поддержка. – Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2018. – 448 с.

2. Бейдер Э., Брабанд Ж., Дэвис К. Prometheus на практике: мониторинг и анализ работы приложений. – Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2021. – 288 с.

3. Рот Д. Системы мониторинга: теория и практика. – М.: Лань, 2022. – 215 с.

SERVICE PLATFORM FOR LOAD TESTING

Kuzmin D. A., Stefanova I.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. The report provides an example of modules for organizing a load testing platform.

УДК 004.021+ 004.9

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Куренков В. А., Стефанова И.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникации и информатики)

В условиях увеличения голосовой коммуникации в шумных средах, таких как видеоконференция, подкастинг и телемедицина, задача качественного подавления шума является ключевым элементом для достижения хорошего звука. Наиболее эффективными оказываются гибридные подходы, комбинирующие классические цифровые методы обработки сигналов и современные алгоритмы на основе искусственного интеллекта. Авторами предлагается реализация гибридного алгоритма для использования в системах голосовой связи, требующих высокое качество аудио потока, предназначенного для работы в режиме реального времени.

С этой целью был разработан алгоритм шумоподавления, обеспечивающего высокое качество очистки речевого сигнала при низкой вычислительной задержке при обработке звука. Для ее достижения предлагается трехэтапный метод обработки аудио потока.

На первом этапе работы алгоритма осуществляется предварительная обработка на основе спектрального вычитания [1]. Данный метод, несмотря на свою простоту, эффективно подавляет стационарные шумы. Оценка спектра шума может осуществляться как автоматически, путем поиска участков минимальной энергии в каждой частотной полосе, так и вручную, путем анализа спектра на временном сегменте, который пользователь идентифицирует как шум.

На втором этапе применяется нейросетевая модель, реализованная на основе сверточной нейронной сети с использованием фреймворка TensorFlow [2]. Модель принимает на вход признаки, извлеченные с помощью кратковременного преобразования Фурье (STFT) [3], и обучается сопоставлять спектрограмму зашумленного сигнала со спектрограммой чистого сигнала. Архитектура сети включает в себя сверточные слои, Batch Normalization и Dropout-слои для борьбы с переобучением. Модель способна учитывать сложные нелинейные зависимости и подавлять нестационарные шумы, плохо поддающиеся классическим методам.

На третьем этапе для финальной доочистки сигнала применяется адаптивный фильтр Винера [4]. Он использует оценку отношения сигнал/шум SNR (Signal-to-Noise Ratio), полученную на основе предыдущих этапов, для дальнейшего подавления и сглаживания остаточных шумов.

Важной особенностью предложенного алгоритма является поддержка онлайн-обучения. Система сможет до обучать нейросетевую модель непосредственно в процессе работы на высококачественных речевых фреймах с высоким отношением сигнала к шуму SNR, что позволит ей адаптироваться к

среде пользователя. Для надежного обнаружения речи используется алгоритм обнаружения голосовой активности VAD (Voice Activity Detection) из библиотеки WebRTC.

Рассмотренный алгоритм реализован на языке Python и, чтобы обеспечить работу в режиме реального времени, работает с кадрами фиксированной длины. Буферизация кадров и наложение кадров минимизируют артефакты на границах, а также задержку кадров.

Кроме того, была проведена экспериментальная оценка работы алгоритма на синтетических и реальных записях речи с добавлением различных типов шумов. Результаты тестирования программной реализации показали, что предложенный гибридный подход превосходит по качеству обработки методы, использующие только спектральное вычитание или только нейросетевое подавление, особенно в условиях сильно зашумленного сигнала и нестационарных шумов. Вычислительная эффективность реализации подтверждает возможность ее использования в режиме реального времени на стандартном процессоре (CPU).

Как показал эксперимент, разработанный гибридный алгоритм представляет собой перспективное решение для интеграции в системах голосовой связи, требующие высокого качества аудио потока, где требуется чёткость речи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шумоподавление на основе алгоритма спектрального вычитания. Текст: электронный – URL: https://studentopedia.ru/tehnika/shumopodavlenie-na-osnove-algoritma-spektralnogo-vichitaniya--adaptivnoe-shumopodavlenie-na-osnove.html (дата обращения 15.09.2025).

2. TensorFlow. Текст: электронный – URL: https://www.tensorflow.org/ resources/ models-datasets?hl=ru (дата обращения 15.09.2025).

3. Кратковременное преобразование Фурье. Текст: электронный – URL: https://alphapedia.ru/w/Short-time_Fourier_transform (дата обращения 15.09.2025).

4. Оптимальный фильтр Винера. Текст: электронный – URL: https://studme.org/340762/tehnika/optimalnyy_filtr_vinera (дата обращения 15.09.2025).

HYBRID NOISE REDUCTION ALGORITHM FOR SPEECH SIGNALS IN REAL TIME

Kurenkov V.A., Stefanova I.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. The paper proposes the implementation of a hybrid algorithm that can be used in voice communication systems that require high-quality audio-streams for real-time operation.

УДК 004.896

ИССЛЕДОВАНИЕ EYE-TRACKING ТЕХНОЛОГИИ

Феклистов А. А., Стефанова И.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Технология отслеживания взгляда в последние годы перестала быть исключительно лабораторным инструментом и вышла в сферу прикладных решений. Сегодня её можно встретить в научных исследованиях, маркетинге, образовании, медицине, игровых приложениях и в интерфейсах для людей с ограниченными возможностями. При этом на рынке существует несколько категорий систем – коммерческие продукты высокого уровня, доступные open-source решения и экспериментальные прототипы.

Одним из самых известных продуктов является Tobii Eye Tracker. Это коммерческая линейка трекеров, которые отличаются высокой точностью измерений и продуманным программным обеспечением. Tobii активно используется в UX-исследованиях: с его помощью анализируют, куда пользователи смотрят на веб-страницах или в интерфейсах приложений. В медицине такие устройства помогают диагностировать особенности внимания или когнитивные нарушения. Сильной стороной Tobii является высокая точность и готовые инструменты анализа, слабой – высокая цена и ограниченная возможность кастомизации.

Другим важным примером является Pupil Labs. Компания предлагает очки с камерами и инфракрасной подсветкой, а также программное обеспечение с открытым исходным кодом. Продукт ориентирован прежде всего на исследователей и разработчиков. Его ценность заключается в гибкости и модульности: пользователь может изменить алгоритмы детекции, подключить собственные модули, расширить функционал.

EyeTribe Tracker стал заметным проектом благодаря своей низкой цене. В отличие от крупных производителей, он делал ставку на доступность для студентов и независимых разработчиков. Хотя точность работы была ниже, чем у профессиональных решений, EyeTribe позволял быстро интегрировать технологию в собственные проекты. Основным недостатком стало прекращение официальной поддержки, что фактически остановило его развитие.

Необходимо отметить и Microsoft Eye Control, интегрированный в Windows 10 и выше. Данная технология позволяет использовать совместимые устройства eye-tracking для управления курсором и базовыми функциями операционной системы. Преимущество подхода в том, что технология становится доступной для широкой аудитории без установки стороннего ПО. Однако функциональность Microsoft ограничена базовыми задачами и не поддерживает расширенные сценарии мультимодального взаимодействия.

Современные решения демонстрируют разные стратегические подходы, которые продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение стратегических подходов технологии отслеживания взгляда

Продукт	Точность	Частота кадров	Стоимость	Совместимость	Поддержка мультимодальности	Целевая аудитория
Tobii	Высокая (0.5–1°)	90–120 Hz	279 EUR (Tobii Eye Tracker 5)	SDK, Windows, macOS	Ограниченная (только взгляд)	UX-исследования, медицина, маркетинг
Pupil Labs	Средняя (1–2°)	60–120 Hz	5950 EUR (Очки с модулем Just act natural)	open-source, Linux/Win/mac	Ограниченная (модули доступны)	Научные исследования, разработка
EyeTribe	Низкая (около 2°)	30–60 Hz	175 EUR (ET1000 Development Kit)	SDK, Windows	Нет	Образование, студенты, энтузиасты
Microsoft EyeCtrl	Средняя (1–2°)	~60 Hz	Бесплатно	Встроено в Windows 10	Ограниченная (курсоры, команды)	Люди с ограниченными возможностями, массовый рынок

Современные решения в области eye-tracking демонстрируют широкий спектр подходов: от высокоточных, но дорогостоящих коммерческих продуктов (Tobii), до гибких исследовательских платформ (Pupil Labs) и бюджетных, но малоэффективных разработок (EyeTribe). Попытки интеграции технологии в массовые интерфейсы (Microsoft Eye Control) подтверждают актуальность её внедрения, однако ограниченность функционала не позволяет реализовать потенциал мультимодального взаимодействия. Таким образом, выявляется ключевая научно-практическая задача – создание доступного по стоимости трекера глаз, ориентированного на промышленное применение и интеграцию в многомодальные интерфейсы, где взгляд рассматривается как один из элементов естественного взаимодействия человека и системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duchowski A. T. Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. 3rd Edition. Springer, 2017. – 496 p.

2. Holmqvist K., Nyström M., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H., van de Weijer J. Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures. Oxford University Press, 2011. – 663 p.

3. Poole A., Ball L. J. Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects // In: Encyclopedia of Human-Computer Interaction. IGI Global, 2006. – P. 211–219.

RESEARCH ON EYE-TRACKING TECHNOLOGY

Feklistov A.A., Stefanova I.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. The report provides an overview of approaches to modern eye-tracking technology solutions.

УДК 004.025.5

МАРШРУТИЗАЦИЯ В ОБЛАЧНО-ТУМАННОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ И ЗАДЕРЖЕК

Глушак Е.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С развитием облачных технологий и вычислений на границе сети (туманных вычислений), все чаще возникает необходимость в эффективной маршрутизации данных между облачными и туманными узлами [1]. Они используются в таких областях, как интернет вещей (IoT), умные города и др., где критически важны не только вычислительные ресурсы, но и минимизация задержек и обеспечение качества обслуживания. Облачно-туманная среда характеризуется ограниченными ресурсами, динамичным изменением нагрузки и различиями в характеристиках сети [2]. Поэтому задача маршрутизации данных в таких условиях становится сложной и требует поиска оптимальных решений, которые обеспечат эффективное использование ресурсов, минимизацию задержек и соответствие требованиям QoS [3]. В докладе исследуются различные подходы к маршрутизации, а также предлагаются методы оптимизации, которые могут повысить производительность систем, обеспечивая баланс между облачными и туманными вычислениями.

Пусть $x = (x_1, x_2, ..., x_n)$ – это вектор решений, где x_i – это параметры маршрутизации (выбор маршрута, распределение трафика). Функция $f_j(x)$ – критерии оптимизации (задержка, пропускная способность и энергопотребление). Функция $g_k(x)$ – ограничения, связанные с ограничениями ресурсов и QoS (максимальная задержка и минимальная пропускная способность). Зависимость $D(x)$ – задержка, ассоциированная с маршрутом x, а $R(x)$ – ресурсы, требуемые для маршрута x (пропускная способность и вычислительные мощности).

Целью является минимизация общей задержки и энергопотребления, а также оптимизация использования ресурсов, что может быть представлено, как $\min_x \left[\sum_{j=1}^{m} f_j(x) \right]$, где $f_j(x)$ включает в себя несколько функций оптимизации, а именно минимизацию задержки $f_1(x) = D(x)$, энергопотребления $f_2(x) = E(x)$, минимизацию использования облачных ресурсов $f_3(x) = C(x)$. При этом ограничения $g_k(x) \le 0, k = 1, 2, ..., p$, где $g_1(x) = R(x) - R_{\max} \le 0$ – ограничение на использование доступных ресурсов, $g_2(x) = D(x) - D_{\max} \le 0$ – ограничение на максимальную задержку.

Для проверки данной модели был проведен эксперимент в облачно-туманной среде. Система состояла из облачного узла с высокой вычислительной мощностью и трех туманных узлов, расположенных ближе к пользователю, с

ограниченными вычислительными и сетевыми ресурсами. Эксперимент включал несколько типов трафика, которые требовали разных уровней пропускной способности и минимальной задержки. Были выполнены измерения $D(x)$, $E(x)$, а также оценка использования ресурсов $R(x)$. В ходе эксперимента облачный узел имел ресурсы $R_{\max} = 100$ Мбит/с пропускной способности и $D_{\max} = 50$ мс для максимальной задержки. Туманные узлы имели ограниченные ресурсы, и их пропускная способность не должна была превышать 30 Мбит/с.

Результаты показали, что оптимизация маршрута с учетом ограничений на ресурсы и задержку приводит к значительному уменьшению общей задержки и энергопотребления, при этом оставаясь в рамках допустимых значений для QoS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157-168.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

3. Глушак, Е. В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е. В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 – 104.

ROUTING IN A CLOUD-FOG ENVIRONMENT WITH LIMITED RESOURCES AND DELAYS

Glushak E.V.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This article discusses routing in cloud environments with limited resources and latency. It presents a mathematical model that optimizes resource allocation and minimizes delays while meeting quality of service (QoS) constraints. The model takes into account the dynamic nature of cloud and edge nodes, providing an efficient approach to data routing in distributed systems. The results obtained demonstrate the effectiveness of the proposed optimization method to improve system performance and meet service quality requirements.

УДК 004.852

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Трошин А.В., Перминов А.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

По ряду оценок, выполненными различными исследователями, общий объем трафика Интернета, генерируемого в проводных сетях, вырастет в два раза, а в мобильных сетях в три раза к 2030 году. К основным стимулирующим рост факторам относятся: развертывание мобильных сетей 5-го поколения (5G), увеличение количества широкополосных пользовательских подключений к Интернету (FTTH), рост пользователей Интернета и мобильных сетей в развивающихся странах. Помимо этого, на рост также окажут влияние и множество дополнительных факторов, таких как увеличение потребления продуктов генеративных моделей искусственного интеллекта, внедрение новых сервисов и приложений, появление на потребительском рынке устройств Интернета-вещей с более высокими требованиями к характеристикам подключения, например IP-камер высокого разрешения. Постоянный рост объемов трафика требует непрерывного совершенствования сетевой инфраструктуры для удовлетворения всех запросов пользователей. Эта проблема значительно усложняется тем, что разные сетевые приложения могут иметь сильно различающиеся требования к характеристикам качества обслуживания сетевого трафика. В связи со сказанным, становится очевидной актуальность задачи отслеживания и прогнозирования сетевого трафика.

Сетевой трафик представляет собой последовательность событий во времени и соответственно может быть представлен в виде временного ряда. Традиционно для задач прогнозирования временных рядов применяются стохастические авторегрессионные методы, основанные на зависимости прогнозируемых значений от предыдущих. К методам данного типа относятся авторегрессионная модель (AR), модель скользящего среднего (MA), авторегрессионная модель скользящего среднего (ARMA), интегрированная авторегрессионная модель скользящего среднего (ARIMA), модель экспоненциального сглаживания (ES). Преимуществами авторегрессионных методов являются простота реализации, хорошая интерпретируемость и адаптируемость под разные виды задач. Главным их недостатком является ограниченность прогнозирования стационарными или слабостационарными временными рядами.

На практике все большую популярность для прогнозирования трафика находят методы машинного обучения, основанные на использовании искусственных нейронных сетей. К наиболее часто используемым методам данного типа относятся модели темпоральных сверточных нейронных сетей (CNN) и рекуррентных нейросетей с элементами краткосрочной-долгосрочной памяти (LSTM). Темпоральные CNN предъявляют низкие требования к

вычислительным ресурсам, хорошо улавливают локальные временные зависимости, однако плохо способны распознавать длительные тренды в данных.

Трафик современных сетей представлен совокупностью потоков разных приложений, характеристики которых могут сильно различаться и поэтому использование для прогнозирования общей модели во многих случаях может приводить к большой погрешности. Вместо общей модели в настоящей работе предлагается использование нескольких методов машинного обучения в зависимости от вида трафика. Для выбора конкретной модели в работе рассматривается сравнительный анализ точности прогнозирования различных методов на известных наборах данных трафика разных сетевых приложений, таких как веб-приложений, мультимедийных и пиринговых приложений.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR PREDICTION OF DIFFERENT TYPES OF NETWORK TRAFFIC

Troshin A.V., Perminov A.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Network traffic is constantly growing, driven by mobile subscriptions, data-intensive applications, 5G cellular networks and new AI technologies. This growth can be challenging for a lot of modern networks and traffic prediction is crucial for fast adaptation of the network infrastructure. Network traffic consists of many flows of applications of different types that can have very dissimilar characteristics and demands for quality of service. Therefore not a single forecasting method can be fit for each traffic type and we provide a comparative analysis of some machine learning methods for prediction of different types of network traffic.

УДК 004.852

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ

Трошин А.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Выявление сетевых аномалий является важной современной прикладной задачей, позволяющей оперативно определять появление в компьютерных сетях различного рода нарушений и сбоев, которые могут свидетельствовать как о различных технических неполадках, так и разнообразной злонамеренной деятельностью, например проведением сетевых атак.

Подавляющая часть традиционных методов выявления сетевых аномалий основана на статистическом профилировании характеристик сетевого трафика, в результате чего определяются допустимые границы его отклонений, и любой выход за пределы допустимых границ считается аномалией. Ограниченность традиционных методов связана с тем, что в крупных компьютерных сетях потоки трафика имеют выраженный нестационарный характер с хаотическими колебаниями во времени, что не позволяет создавать статистическкий профиль на достаточно длительных временных интервалах.

В связи с этим, все более широкое распространение для выявления сетевых аномалий получают методы, основанные на моделях машинного обучения. В большинстве таких методов производится предварительное обучение модели для прогнозирования возможных трендов трафика на основе данных значений его параметров за предыдущие периоды. Сетевые аномалии, при данном подходе, определяются как превышение отклонений текущих значений параметров трафика от прогнозируемых.

Одной из основных проблем применения методов машинного обучения для выявления аномалий является выбор наиболее подходящей модели для условий задачи. Поскольку сетевой трафик представляет собой поток событий во времени, то наиболее очевидным образом он может быть представлен в форме многопараметрического временного ряда, для обработки которого наиболее подходящими являются модели, основанные на рекуррентный искусственных нейронных сетях. Однако рекуррентные нейронные сети предъявляют очень высокие требования к вычислительным ресурсам при обучении. Это связано с необходимостью хранения и последовательной обработки длительных временных зависимостей, что исключает возможность параллельной обработки данных.

Трансформерные модели машинного обучения представляют собой архитектуру глубоких нейронных сетей для обработки последовательностей, основанную на механизме множественного внимания. Появление трансформерных моделей привело к революции в построении больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), так как транформеры не содержат рекуррентных слоев и позволяют производить параллельную

обработку отдельных элементов последовательности, тем самым значительно повышая производительность обучения модели.

Архитектура трансформеров построена по схеме кодировщика и декодировщика. Кодировщик представляет собой нейросеть из нескольких кодирующих слоев нейронов с элементами внимания, позволяющими получить более компактное и акцентированное представление исходной последовательности. В основе декодировщика лежит аналогичная по структуре нейросеть, назначение которой заключается в получении на основе представления кодировщика последовательности удобной для интерпретации пользователем. Таким образом, трансформерные модели могут применяться для выявления сетевых аномалий за счет их обучения прогнозированию трафика, и дальнейшим сопоставлении прогнозируемых и текущих его значений.

Преимуществами трансформерных моделей в сравнении с рекуррентными нейросетями для выявления сетевых аномалий являются хорошая масштабируемость за счет параллельной обработки элементов последовательностей; высокая устойчивость к исчезновению градиента за счет применения дополнительных соединений между слоями нейронов, улучшение восприятия отдельных параметров последовательности вследствии механизма множественного внимания.

Однако трансформеры имеют и ряд недостатков, к наиболее значительными из них являются: необходимость больших объемов данных для обучения и подверженность к переобучению из-за наличия большого количества слоев нейронов; необходимость генерации значений на выходах в последовательном виде, что замедляет их работу; проявление, в некоторых случаях, эффекта «галлюцинаций», при котором выходная последовательность не имеет смысла.

TRANSFORMER MACHINE LEARNING MODELS FOR NETWORK ANOMALY DETECTION

Troshin A.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Network anomaly detection is the task of identifying network traffic abnormalities that can be caused by equipment malfunctions or cyber attacks. A transformer is a class of deep neural network architecture for machine learning models and has many advantages over traditional recurrent neural networks. Transformers are based on encoder-decoder sequence-to-sequence schema and can be used for traffic prediction and network anomaly detection.

УДК 004.75

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНО-ТУМАННОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Сутягина Л.Н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Интенсивное внедрение технологий Интернета вещей привело к резкому увеличению объема передаваемых данных. Их обработка, хранение и анализ становится трудной задачей, актуальным решением которой может стать использование облачных и туманных вычислений.

При этом следует отметить, что облачные вычисления, предлагая централизованное хранение и обработку данных, при их больших объемах могут столкнуться с задержками при работе в реальном времени [1].

Туманные вычисления позволяют обрабатывать данные ближе к источнику их формирования, минимизируя этим задержки. Для оценки эффективного взаимодействия этих двух подходов предлагается рассмотреть математическую модель, основанную на дифференциальных уравнениях, описывающую процесс передачи и обработки данных между туманными и облачными вычислениями. Данная модель позволяет анализировать и оптимизировать параметры системы, такие как задержки и потери данных, решая часть проблем, рассмотренных в [2].

Основными параметрами в математической модели являются количество данных, которые обрабатываются в области тумана в момент времени t (обозначим их – $B(t)$) и количество данных, которые передаются в облачные вычисления для дальнейшей обработки и хранения (обозначим их – $C(t)$). С учетом этих обозначений, изменение количества данных, которые обрабатываются в области тумана в момент времени t, можно описать через дифференциальное уравнение:

$$\frac{dB(t)}{dt} = \eta \cdot D(t) - \delta \cdot B(t), \qquad (1)$$

где $D(t)$ – количество входящих данных (например, от сенсоров или пользователей),

η – коэффициент обработки данных на туманном узле,

δ – коэффициент утраты или задержки данных на туманном узле.

Изменение количества данных, которые передаются в облачные вычисления для дальнейшей обработки и хранения, можно описать через дифференциальное уравнение:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \rho \cdot B(t) - \tau \cdot B(t), \qquad (2)$$

где $B(t)$ – количество данных, которые были обработаны в туманном вычислении и готовы к передаче в облако,

ρ – коэффициент передачи данных в облако,

τ – коэффициент утраты или задержки данных в облаке.

Канал передачи данных между туманными вычислениями и облаком позволяет описать следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dD(t)}{dt} = \lambda - \mu \cdot D(t), \qquad (3)$$

где λ – скорость поступления новых данных в систему (например, от устройств),

μ – коэффициент потерь или задержек в канале передачи данных.

Эффективность предложенной модели оценивалась с помощью эксперимента, в ходе проведения которого изменялись такие параметры, как задержка обработки данных, использование вычислительных ресурсов, энергопотребление и скорость передачи данных. Тестирование проводилось на различных уровнях нагрузки, включая реальные сценарии передачи и обработки данных с устройств IoT. Результаты показали, что предложенная модель снижает задержку на 20-35%, повышает эффективность использования вычислительных ресурсов на 15%, и сокращает энергопотребление на 25-30% [1]. Была отмечена улучшенная скорость передачи данных и сокращение времени отклика системы, что делает модель более подходящей для применения в реальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

2. Сухов, А.М. Маршрутизация в циркулянтных графах на основе виртуальной координатной системы / А.М. Сухов, А.Ю. Романов, Е.В. Глушак // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 3. – С. 282 – 293.

ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DATA TRANSMISSION IN CLOUD-FOG ARCHITECTURE

Sutyagina L.N.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This paper presents a mathematical model for data transmission in cloud and fog computing systems, focusing on optimizing data processing, transfer, and storage. The model integrates both cloud and fog computing to enhance scalability and reduce latency, addressing the challenges of large data volumes generated by IoT devices. Through differential equations, the model simulates the dynamic behavior of data flows and allows for the analysis of various system parameters, such as network bandwidth, processing delays, and resource utilization. Experimental results demonstrate that the proposed model significantly improves processing speed, energy efficiency, and overall system responsiveness compared to traditional approaches.

УДК 621.391

РАСЧЁТ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ НА СИМВОЛ И НА БИТ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ НА ПРИМЕРЕ КАМ-8

Николаев Б.И.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Вероятность ошибки при передаче цифровой информации по каналу с шумом определяется не только отношением мощности сигнала к мощности шума, но и конфигурацией созвездия передаваемых сигналов [1]. Кроме того, при пересчёте вероятности ошибки на символ $P(\text{ош.симв.})$ в вероятность ошибки на бит $P(\text{ош.бит})$ необходимо учитывать битовое заполнение каждого символа созвездия. Рассмотрим «прямоугольное» созвездие КАМ-8 (рис. 1).

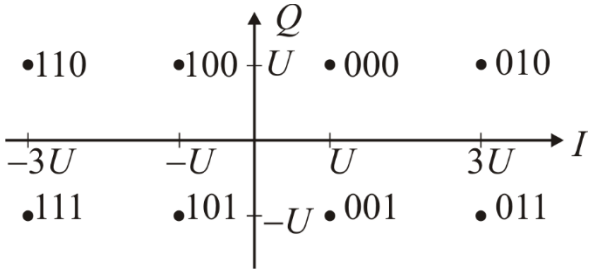


Рис. 1. Пространственная диаграмма КАМ-8

На рисунке введены обозначения: I и Q – соответственно синфазная и квадратурная компоненты сигнала, U – масштабная единица.

На передающей стороне величина U определяет среднюю мощность передатчика $P_{\text{пер}}$. Мощность «внутреннего» сигнала созвездия (на единичном сопротивлении) равна $2U^2/2 = U^2$, а мощность «углового» сигнала – $U^2/2 + (3U)^2/2 = 5U^2$. Средняя мощность $P_{\text{пер}} = \left(5U^2 + U^2\right)/2 = 3U^2$. Следовательно, $U^2 = P_{\text{пер}}/3$.

Вероятность ошибки для каждого из «угловых» символов определяется через вероятности двоичных переходов с учётом теорем сложения и умножения вероятностей:

$P\left(\text{ош}\middle|\text{угл}\right) = 2Q\left(\sqrt{2h^2}\right) - Q^2\left(\sqrt{2h^2}\right)$, где $h^2 = E/N_0$, $E = U^2T/2$ – энергия принимаемого сигнала с амплитудой U, N_0 – спектральная плотность АБГШ, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\infty \mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}}dt$ – функция ошибок.

Величину h^2 выразим через заданную среднюю мощность принимаемого сигнала $P_{\text{пр}}$. Теперь $U^2 = P_{\text{пр}}/3$, а $h^2 = E/N_0 = P_{\text{пр}}T/6N_0$. Величины $P_{\text{пр}}$, T и N_0 считаются заданными.

Вероятность выбора «углового» сигнала $P(\text{угл}) = 4/8 = 1/2$, и вероятность выбора «внутреннего» сигнала $P(\text{внутр}) = 1/2$. Следовательно, средняя (полная) вероятность ошибки на символ

$$P(\text{ош.симв.}) = 1/2\left[2Q\left(\sqrt{2h^2}\right) - Q^2\left(\sqrt{2h^2}\right) + 3Q\left(\sqrt{2h^2}\right) - 2Q^2\left(\sqrt{2h^2}\right)\right] =$$

$$= 1/2\left[5Q\left(\sqrt{2h^2}\right) - 3Q^2\left(\sqrt{2h^2}\right)\right].$$

Вероятность ошибки на бит с использованием кода Грея при достаточно большом отношении сигнал/шум в 3 раза (при $m = 8$, $\log_2 m = 3$) меньше, чем вероятность ошибки на символ:

Действительно, $P(\text{ош}) = P(\text{ош 1 бит}) + P(\text{ош 2 бит}) + P(\text{ош 3 бит})$. В этой сумме первое слагаемое больше остальных (доминирующее) в силу заданных дистанционных свойств. А в $P(\text{ош 1 бит})$ с равным весом входят 3 одинаковых слагаемых $P(\text{ош, пр, пр}) + P(\text{пр, ош, пр}) + P(\text{пр, пр, ош})$, из которых только одно соответствует ошибке в избранном бите. Поэтому

$$P(\text{ош бит}) = 1/3\left(P(\text{ош})\right) = 1/6\left[5Q\left(\sqrt{2h^2}\right) - 3Q^2\left(\sqrt{2h^2}\right)\right].$$

При использовании произвольного кода из 7 равновероятных вариантов ошибки на символ на долю выбранного бита приходится 4 варианта ошибки. Поэтому для произвольного кода $P(\text{ош бит}) = 4/7\left(P(\text{ош})\right)$. Следовательно, при использовании кода Грея вероятность ошибки меньше, чем при использовании произвольного кода, в $(4/7):(1/3) = 12/7 = 1{,}714$ раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокис, Дж. Цифровая связь / под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.

CALCULATION OF ERROR PROBABILITY PER SYMBOL AND PER BIT OF A DIGITAL TRANSMISSION SYSTEM USING THE EXAMPLE OF QAM-8

Nikolaev B.I.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines the method for calculating the probability of error per symbol and per bit of a digital transmission system using the example of KAM-8.

УДК 621.391.121

ПРОЦЕДУРА ДЕКОДИРОВАНИЯ СВЁРТОЧНЫХ КОДОВ В КАНАЛАХ С РАССЕЯНИЕМ

Хабаров Е.О., Мартышенко В.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы свёрточного кодирования (convolutional coding) представляют собой эффективное средство повышения помехоустойчивости сигнальных последовательностей, и нашли широкое применение в телекоммуникационных системах.

При этом следует отметить, что существенная доля каналов, используемых на практике, относится к классу каналов с межсимвольной интерференцией (МСИ).

Среди демодуляторов, используемых при работе в каналах подобного типа, широкое применение нашли демодуляторы, использующие процедуру вычитания «хвостов» от предыдущих информационных символов (т.е. использующих обратную связь по решению – ОСР [1]). Подобная процедура позволяет увеличить размерность пространства принимаемых сигналов и улучшить различимость принимаемых последовательностей информационных символов:

$$\hat{z}(t) = z(t) - \sum_{i=1}^{Q} b_{l-i}\varphi\left(t-(l-i)T\right); \qquad (1)$$

где $z(t)$ – принимаемая смесь сигнала и шума, $\hat{z}(t)$ – принимаемая смесь учётом ОСР, l – номер анализируемого элемента информационной последовательности, i – номер предшествующего сигнального элемента, $\varphi\left(t-(l-i)T\right)$ – предшествующие элементы последовательности, b_{l-i} – соответствующие им амплитудные значения.

При каскадном соединении демодулятора с ОСР цепь обратной связи не защищена корректирующим кодом, что приводит к усилению эффекта размножения ошибок.

В докладе рассмотрена система на основе свёрточного NSC (7,5) кода, причём пары битов, соответствующие кодовым рёбрам, передаются по двум разнесённым каналам связи.

Каждому состоянию кодовой решётки ставятся в соответствие пара демодуляторов, работающих с каждым из разнесённых каналов.

В цепь обратной связи поступают символы, соответствующие «победившему» пути по кодовой решётке.

При таком подходе цепь обратной связи демодулятора оказывается защищённой корректирующим кодом.

Характеристики качества декодера с обратной связью по кодовой решётке определялись методом компьютерного имитационного моделирования для двух типов каналов связи с межсимвольной интерференцией:

однолучевой канал с ограниченной полосой пропускания (с повышенной удельной скоростью манипуляции);

двухлучевой канал с ограниченной полосой пропускания и лучами равной интенсивности.

Результаты моделирования показывают, что предложенный способ декодирования полностью устраняет эффект размножения ошибок и обеспечивает существенный энергетический выигрыш по сравнению с классической схемой на основе каскадного соединения демодулятора с обратной связью по решению и жёсткого декодера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокис Дж. Цифровая связь / под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.

DECODING PROCEDURE FOR CONVOLUTIONAL CODES IN CHANNELS WITH SCATTERING

Khabarov E.O., Martyshenko V.D.
(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The report considers the procedure for decoding convolutional codes in channels with scattering.

УДК 621.396

ФОРМИРОВАНИЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ СИСТЕМОЙ TSUC С УПРАВЛЯЕМОЙ ВРЕМЕННОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ

Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Конфиденциальные системы передачи информации используют шумоподобные сигналы, формируемые на базе управляемых многолепестковых TSUC (Three-Scroll Unified Chaotic) систем с динамическим хаосом [1]. Важным требованием в этом случае является обеспечение требуемого уровня хаотизации нелинейных систем с хаотической динамикой. Оценить численно степень хаотизации применяемых систем с динамическим хаосом возможно по показателям Ляпунова [2].

Цель работы – исследование влияния параметров временной дискретизации управляемой дискретно-нелинейной многолепестковой TSUC системы на показатели Ляпунова.

Управление дискретно-нелинейной системой TSUC с динамическим хаосом в работе проводилось путем изменения управляющих параметров *a*, *d*, *b*, *f*, *c*, *e* при вариации параметров временной дискретизации хаотических сигналов $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$, формируемых по процедуре Эйлера [3]:

$$\begin{cases} X_{i+1} = X_i + \Delta t(a(Y_i - X_i) + dX_i Z_i), \\ Y_{i+1} = Y_i - \Delta t(bX_i - X_i Z_i + fY_i), \\ Z_{i+1} = Z_i + \Delta t(cZ_i + X_i Y_i - eX_i^2), \end{cases}$$

Показано, что при выборе интервалов временной дискретизации Δt, нормированных к периоду квазипериодических колебаний в системе TSUC, в диапазоне от 8`10-3 до 0.12, наблюдается устойчивое хаотическое поведение управляемой системы TSUC без эффектов перемежаемости. При этом параметры асимптотического спектра показателей Ляпунова управляемой дискретно-нелинейной многолепестковой TSUC изменяются не более, чем на 15%.

В установленном диапазоне интервалов временной дискретизации Δt проведено исследование влияния временной дискретизации на максимальные значения показателей Ляпунова. Характерные зависимости максимальных показателей Ляпунова от Δt, представлены на Рис. 1.

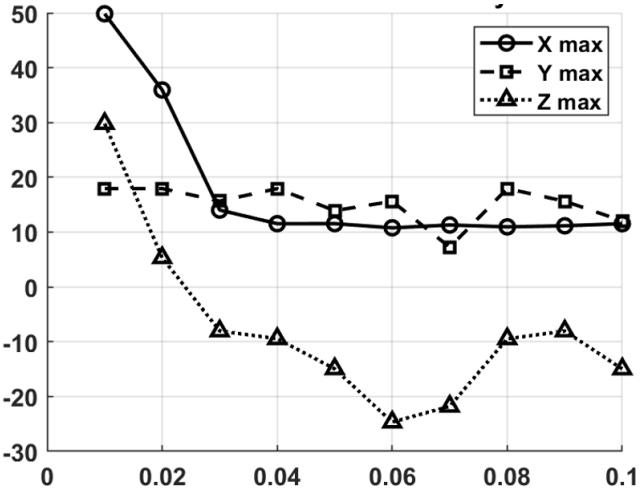


Рис.1. Зависимости максимальных показателей Ляпунова от Δt.

Показано, что максимальные значения показателей Ляпунова для хаотических колебаний $X(t)$, $Y(t)$ снижаются в диапазоне нормированных интервалов дискретизации 0,015…0,035, с последующей относительной стабилизацией изменений в диапазоне 0,045…0,9. Полученные результаты позволяют оптимизировать выбор параметров формирователей маскирующих шумоподобных сигналов управляемой дискретно-нелинейной многолепестковой TSUC системы в конфиденциальных системах передачи информации на основе динамического хаоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lin Pan, Wuneng Zhou, Jian'an Fang, Dequan Li. A New Three-Scroll Unified Chaotic System Coined // International Journal of Nonlinear Science. 2010. Vol.10(2010), No.4. P. 462-474.

2. Karlheinz Geist, Ulrich Parlitz, Werner Lauterborn. Comparison of Different Methods for Computing Lyapunov Exponents // Progress of Theoretical Physics, - 1990. - Volume 83, Issue 5. - pp. 875-89

3. Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В. Формирование псевдослучайных сигналов с варьируемыми пик-факторами на основе многолепестковой дискретно-нелинейной TSUCS / ТТТ-2023. Физика и технические приложения волновых процессов ФиТПВП-2023: материалы XX Международной научно-технической конференции. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. Т. 3. С. 74-75.

GENERATION OF NOISE-LIKE SIGNALS BY TSUC SYSTEM WITH CONTROLLED TIME SAMPLING

Sharifullin T.B., Afanasiev V.V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The influences of the discrete-nonlinear controlled TSUC system parameters on the Lyapunov exponents are carried out. The recommendations for choosing the time sampling parameters of discrete-nonlinear TSUC system signals are proposed.

УДК 621.391

КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОСТАНОВКИ ПРОЦЕССА ИТЕРАЦИОННОГО ТУРБОДЕКОДИРОВАНИЯ

Мишин Д.В., Тяжев А.И.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Помехоустойчивость турбодекодера в определенной мере определяется количеством итераций в процессе декодирования. Поскольку слишком большое количество итераций приводит к значительным вычислительным затратам и задержке, необходимо решить эту проблему, останавливая процесс декодирования в подходящий момент.

Турбокод это параллельный каскадный код [1]. Он может быть, как блоковым, так и сверточным. Турбокод, как правило, состоит из двух (или более) кодирующих устройств, связанных между собой перемежителем. Этот перемежитель, по сути, хаотично переставляет информационные символы перед их кодированием вторым кодером. Такая структура позволяет эффективно бороться с ошибками, возникающими в каналах связи с замираниями и помехами. Наличие перемежителя в кодирующем устройстве не позволяет использовать традиционную процедуру декодирования по критерию максимального правдоподобия. Поэтому декодирование турбокода может быть выполнено итеративным способом с использованием алгоритма максимального апостериорного или алгоритма Витерби с мягким выходом. Декодирование турбокода – это итеративный процесс, в котором два или более декодера (SISO - Soft-Input Soft-Output, мягкий вход – мягкий выход) последовательно обмениваются информацией о вероятности декодировании символов. Каждый декодер, получив информацию от другого декодера, использует ее для улучшения своей оценки вероятности каждого символа. Эта «внешняя» информация, передаваемая между декодерами, является ключом к эффективности турбодекодирования.

С каждой итерацией помехоустойчивость турбодекодера возрастает, что позволяет приблизиться к границе Шеннона. В идеальных условиях, после достаточного количества итераций, можно восстановить исходную информацию даже при низком отношении сигнал/шум. Однако, каждое увеличение количества итераций влечет за собой увеличение количества вычислительных операций и задержки в принятии решения при декодировании. Помехоустойчивость турбодекодера имеет предел. После определенного количества итераций дальнейшее улучшение становится незначительным, а вычислительные затраты продолжают расти. Это связано с тем, что информация, передаваемая между декодерами, начинает «зацикливаться», и новые итерации не приносят существенного улучшения оценки вероятности символов. В реальных условиях, где важна скорость обработки данных и минимизация

задержек, важно найти оптимальный момент для остановки итерационного процесса декодирования.

Разработка эффективного критерия остановки – сложная задача, требующая баланса между помехоустойчивостью и вычислительной сложностью. Существует несколько подходов к решению этой проблемы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки:

В докладе рассматривается один из возможных критериев остановки итерационной процедуры декодирования, который основан на сравнении и оценки различия в двух двоичных потоках решений от соответствующих декодеров. Если различия между этими потоками уменьшаются до определенного порогового значения, то итерации прекращаются. Преимуществом этого подхода является его простота реализации.

Выбор оптимального критерия остановки итерационного турбодекодирования зависит от конкретных требований к системе связи. Критерий, основанный на сравнении двоичных потоков решений, может быть подходящим выбором для задач, где важна простота реализации и низкие вычислительные затраты. Однако, для достижения максимальной помехоустойчивости может потребоваться использование более сложных критериев, учитывающих изменения внешней информации или оценку синдрома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташевский В.Г., Мишин Д.В. Прием кодированных сигналов в каналах с памятью. – М.: Радио и связь, 2004. – 239 с.

CRITERION FOR STOPPING THE ITERATIVE TURBO DECODING PROCESS

Mishin D.V., Tyazhev A.I.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers one of the possible criteria for stopping the iterative decoding procedure, which is based on comparing and evaluating the difference in the two binary decision streams from the corresponding decoders. If the differences between these streams decrease to a certain threshold, the iterations are terminated. The advantage of this approach is its ease of implementation.

УДК 621.391

АДАПТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАМИРАНИЙ

Мишин Д.В., Григоров И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Стремительный рост мобильного трафика и развитие новых беспроводных технологий, таких как 5G и Wi-Fi 6/7, предъявляют беспрецедентные требования к эффективности использования радиочастотного спектра. Ограниченность этого ресурса диктует необходимость поиска инновационных подходов к построению систем радиосвязи, способных максимально эффективно использовать доступную полосу пропускания в условиях постоянно меняющейся радиообстановки. Адаптивные технологии, основанные на динамической подстройке параметров сигнала к текущему состоянию канала, представляются одним из наиболее перспективных направлений в этой области, особенно в условиях многолучевого распространения сигнала в каналах с замиранием [1].

Радиоканалы мобильной связи подвержены значительным искажениям из-за многолучевого распространения, что вызывает ухудшение соотношения сигнал-шум и увеличивает вероятность ошибок. Традиционные подходы, такие как повышение энергии передачи или применение помехоустойчивых методов кодирования, рассчитаны на самые неблагоприятные условия каналов, приводя к неэффективному использованию доступной пропускной способности в периоды менее глубоких замираний. Оптимальное решение заключается в динамической настройке параметров сигнала в зависимости от текущих условий канала. Адаптивная передача информации основывается на принципе оптимизации параметров сигнала в зависимости от состояния канала. Основной задачей является балансировка энергетического потенциала линии связи в режиме реального времени. Это достигается путем адаптивного изменения следующих параметров: уровень передаваемой мощности, скорость передачи символов, размер сигнального созвездия и кодовая скорость.

Такой подход позволяет максимально использовать канальные ресурсы, извлекая дополнительную информацию из временных изменений коэффициента передачи радиоканала. При этом, в условиях хорошего качества канала возможно использование высокой скорости передачи, а при ухудшении – плавное снижение пропускной способности без значительных потерь.

Для эффективной работы адаптивной системы необходимы следующие компоненты:

1. Оценка состояния канала: Приемник должен точно оценивать состояние канала, например, измерять отношение сигнал-шум, задержку распространения и частотную характеристику.

2. Обратная связь: Информация о состоянии канала передается от приемника к передатчику по каналу обратной связи. Точность и скорость этой обратной связи критически важны для эффективности адаптивной системы.

3. Алгоритм адаптации: На основе информации о состоянии канала и заданных критериев оптимизации (например, максимизация пропускной способности при заданном уровне ошибок) алгоритм адаптации определяет оптимальные параметры сигнала.

4. Реализация: Необходимы аппаратные и программные средства для динамической настройки параметров сигнала в соответствии с решениями алгоритма адаптации.

В данном исследовании анализируются характеристики идеальной адаптивной модуляции в Релеевском канале связи (при условии точной оценки канала и отсутствия задержек обратной связи). Определены пороги адаптации для схем модуляции (ФМ-4, КАМ-16, КАМ-64) при заданной вероятности ошибки. Получено аналитическое выражение для вероятности ошибки в адаптивной системе и оценена ее спектральная эффективность.

Таким образом, адаптивные технологии представляют собой мощный инструмент для повышения эффективности систем радиосвязи в условиях изменчивой радиообстановки. Несмотря на сложность реализации, преимущества, которые они обеспечивают, делают их важным элементом современных и будущих беспроводных сетей. Развитие новых алгоритмов и технологий, а также интеграция с другими перспективными направлениями, такими как MIMO и искусственный интеллект, открывают широкие возможности для дальнейшего совершенствования адаптивных систем и повышения эффективности использования радиочастотного спектра. Дальнейшее изучение адаптивных технологий, особенно в контексте современных стандартов связи, безусловно, является перспективным направлением исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташевский В.Г., Мишин Д.В. Прием кодированных сигналов в каналах с памятью. – М.: Радио и связь, 2004. – 239 с.

ADAPTIVE TECHNOLOGIES IN RADIO COMMUNICATION SYSTEMS: INCREASING EFFICIENCY IN FADING CONDITIONS

Mishin D.V., Grigorov I.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This study analyzes the characteristics of ideal adaptive modulation in a Relay communication channel (provided that the channel is accurately evaluated and there are no feedback delays). Adaptation thresholds for modulation schemes (FM-4, CAM-16, CAM-64) have been determined for a given error probability. An analytical expression for the error probability in the adaptive system is obtained and its spectral efficiency is estimated.

УДК 621.391

ИЗОМОРФИЗМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОДОВ В АРХИТЕКТУРЕ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

[1]Гладких А.А., [2]Мишин Д.В.[2]

([1]Ульяновский государственный технический университет, [2]Поволжский государственный университет телекоммуникации и информатики)

В докладе впервые представляется теоретическое обоснование формирования и применения группы эквивалентных кодов (ЭК), полученных путем преобразований исходной порождающей матрицы основного избыточного кода за счет перестановки ее столбцов [1]. Показано, что выявленное свойство ЭК является регулярным для любых блоковых систематических избыточных кодов. На этой основе раскрываются новые технологические возможности по организации связи в ходе передачи команд управления и обмена данными в системе группы роботизированных и (или) беспилотных средств (РБС), объединенных определенной целевой функцией управления. При этом достижение целевой функции может осуществляться без прямого участия оператора центрального пульта (ЦП) за счет реализации принципа самоорганизации группы РБС. С одной стороны, в указанных условиях допустимо разделение общей группы РБС на подгруппы по принципу целевой кластеризации объектов, для которых могут указываться свои специфические подзадачи из состава общей миссии РБС. С другой стороны, допустимо жесткое разделение аппаратов РБС в случае иерархического деления общей группы объектов РБС на отдельные подгруппы с соответствующей системой управления.

Для построения гибкой системы адресования данных в системе коллективного управления РБС вводится понятие ключевой комбинации (КК). Подобные комбинации необходимы для решения задачи отклика конкретного автономного аппарата из общего состава системы в условиях, когда невозможно априори предсказать перекрытие образованными последовательностями стохастического характера минимального расстояния Хэмминга, используемого ЭК. Моделирование процедуры выбора произвольного адресования в системе группы РБС показало, что любой адрес по своим весовым показателям либо находится в одно шаге от многих других адресов, либо полностью совпадает с их отдельными представителями. Поэтому КК выполняют роль псевдо помехи с большим весом, превосходящим, как правило, минимальное расстояние в каждой КК и по этой причине, кроме всего прочего, играют роль криптографической легкой защиты обрабатываемых данных при условии их регулярной замены по заранее предписанному правилу. Принципиально подобную защиту следует отнести к классу информационной маскировки семантической составляющей общего потока данных. В сочетании со случайно выбранными информационными векторами из состава предписанного ЭК подобные правила способствуют решению проблемы обеспечения гомеостаза, то есть способности открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего

состояния при большом количестве РБС с возможной иерархической системой управления.

Сказанное решает проблему разделения ЭК с генетически близкой весовой структурой таких кодов. При формировании кластерной системы в общей группе РБС каждый кластер получает свою КК и поэтому на вызов может откликнуться только тот кластер, который был указан передатчиком. Жесткая схема кластеризации аппаратов позволяет практические связать каждый объект друг с другом для решения общих задач в ходе миссии аппаратов. В случае жесткой кластеризации аппаратов каждый объект может полностью принадлежать кластеру и оператору общей системы управления.

Наиболее изученным с научной точки зрения направлением в применении ЭК является область использования таких кодов применительно к системе обработки блоковых систематических кодов. Поскольку кодирование в новых условиях осуществляется в отсутствии канальных помех, полученный вектор считается более надежным, чем принятый из канала связи. Сравнение указанных кодовых комбинаций выявляет локаторы ошибок в принятом из канала связи векторе, позволяющие быстро их исправить. При этом для каждой принятой комбинации декодером формируется свой ЭК, зависящий от перестановок символов.

Исследование изоморфизмов средств перестановочного декодирования и их востребованных приложений в современных телекоммуникационных системах, возможностей общего варианта формирования множества ЭК в работе осуществляется впервые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладких А.А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи / А.А. Гладких. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 379 с.

ISOMORPHISM OF EQUIVALENT CODES IN THE ARCHITECTURE OF GROUP MANAGEMENT OF UNMANNED OBJECTS

[1]Gladkikh A.A., [2]Mishin D.V.

([1]Ulyanovsk State Technical University, [2]Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

For the first time, the report presents a theoretical justification for the formation and application of a group of equivalent codes (EC) obtained by transforming the initial generating matrix of the main redundant code by rearranging its columns. Based on algebraic group theory, it is proved that such transformations provide a closed subset of codes in which the generating matrices systematically differ only in the verification part. It is shown that the revealed property of EC is common to all block systematic redundant codes.

УДК 621.372

ФИЛЬТРАЦИЯ УГЛА ПОВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА СЕРВОМОТОРА В СИСТЕМЕ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ

Ульянов Д.М., Осанов В.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В рамках бесконтактного управления манипулятором необходимо посредством жестового интерфейса, реализованного за счет компьютерного зрения, обеспечить надежную и бесперебойную передачу вычисляемых углов поворотных механизмов. С этой целью необходимо осуществлять фильтрацию сигналов с углами поворота для устранения шумов и дребезга.

При отсутствии какой-либо фильтрации сигнал передается на сервомотор без каких-либо изменений. Такой подход служит базовым вариантом для сравнения эффективности других фильтров и может быть полезен на этапе отладки системы. Главный недостаток этого подхода – наличие шумов и колебаний исходного сигнала, которые вызывают дребезг и снижение точности позиционирования.

В работе рассматриваются четыре широко популярных фильтра для решения поставленной задачи. Частотный фильтр (дросселирующий) [1] ограничивает частоту обновления выходного сигнала, пропуская только одно значение за заданный временной интервал. Фильтр запоминает время последнего обновления и сравнивает его с текущим временем. Фильтр округления [2] уменьшает количество уникальных значений угла, приводя входное значение к ближайшему числу, кратному заданному шагу. Реализация использует целочисленное деление с предварительным добавлением половины шага для корректного округления. Это классический алгоритм округления до ближайшего кратного. Фильтр скользящего среднего [3] накапливает заданное количество последних значений и возвращает их среднее арифметическое. Он использует список (буфер) для хранения последних значений. При добавлении нового значения, если буфер переполнен, удаляется самое старое значение. Пороговый фильтр [4] пропускает новое значение только если оно отличается от предыдущего более чем на заданный порог. Фильтр запоминает последнее переданное значение и сравнивает с ним новое. Если разница превышает порог, значение обновляется.

В ходе исследования фильтрации угловых сигналов была проведена комплексная оценка четырех методов обработки данных.

На рис. 1 отражены результаты сравнительного анализа четырех методов фильтрации угловых сигналов. Графики демонстрируют, что частотный фильтр и скользящее среднее обеспечивают значительное сглаживание сигнала, однако вносят заметную задержку в систему, что особенно выражено при ступенчатых изменениях входного сигнала. Фильтр округления, напротив, сохраняет мгновенную реакцию, но слабо подавляет высокочастотные шумы. Пороговый

фильтр занимает промежуточное положение, эффективно устраняя дребезг без существенного увеличения времени отклика.

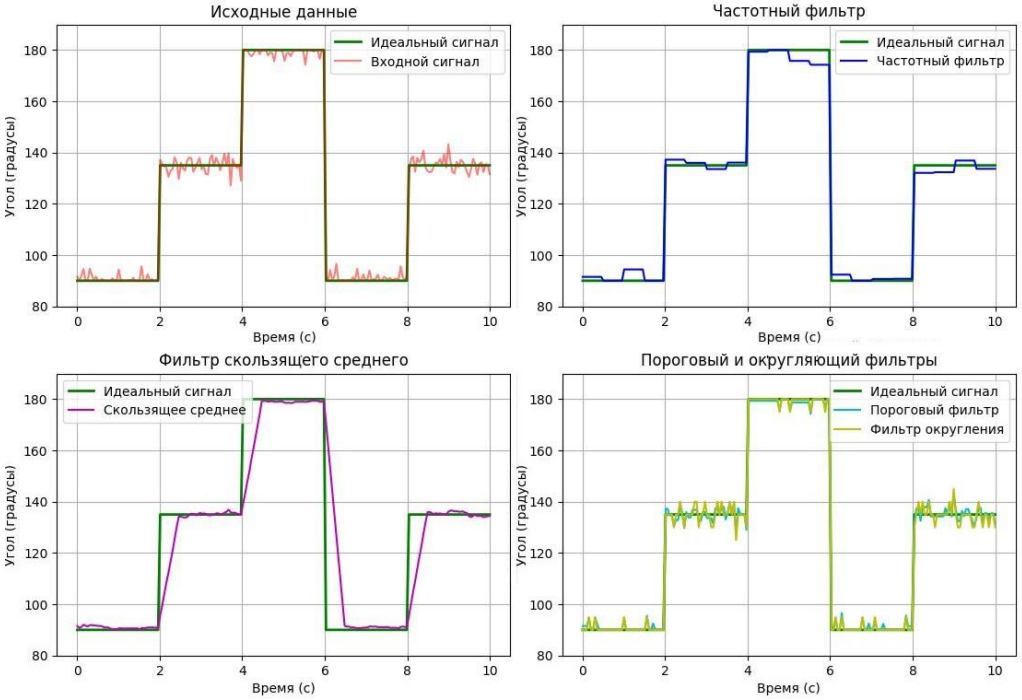


Рис. 1. Сравнение методов фильтрации

Компромиссным решением стала комбинация двух методов – пороговой фильтрации с последующим округлением, что позволило достичь приемлемого уровня сглаживания без существенного увеличения задержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bracewell R. N. An Introduction to the Fourier Transform and its Applications. New York: McGraw-Hill. 1999. P. 616.

2. Tomasi C., Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). India, 1998. P. 839-846.

3. Gu Y., Liu S., Wang D., Zhang L. A Generalized Moving Average Filter for Active Power Filter Applications // IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). Canada, 2019. P. 428-433.

4. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1979. Vol. 9(1). P. 62-66.

FILTRATION OF THE ANGLE OF THE SERVO MOTOR'S TURNING MECHANISM IN THE CONTACTLESS MANIPULATOR CONTROL SYSTEM

Ulyanov D.M., Osanov V.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A comparative study of four filtering methods was conducted: frequency, rounding, moving average and threshold. The results of which a hybrid algorithm was proposed.

УДК 004.8:004.94:621.39

ГЕНЕРАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GAN ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК В СЕТЯХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (HTTP/3, QUIC)

Баженов А. Э.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе рассматривается подход к генерации синтетического сетевого трафика с применением генеративно-состязательных нейросетей (GAN). Предлагаемая методика ориентирована на моделирование нагрузок в инфокоммуникационных сетях нового поколения, использующих протоколы HTTP/3 и QUIC. Проведён анализ применимости GAN к задаче воспроизведения статистических свойств реального сетевого трафика, а также показаны перспективы использования метода при тестировании производительности и устойчивости сетевых сервисов.

Современные инфокоммуникационные сети характеризуются постоянным ростом объёмов передаваемых данных, а также внедрением новых транспортных протоколов, среди которых особое место занимают HTTP/3 и QUIC. Их использование позволяет повысить скорость и надёжность взаимодействия, однако одновременно увеличивает сложность анализа, мониторинга и тестирования таких сетей.

Традиционные генераторы трафика (например, iPerf, tcpreplay) позволяют формировать лишь упрощённые модели нагрузки, что ограничивает реалистичность экспериментов. В этой связи актуальным является применение методов искусственного интеллекта, в частности генеративно-состязательных сетей (GAN), для построения синтетического трафика, статистически схожего с реальным.

Целью работы является разработка метода генерации синтетического сетевого трафика с использованием GAN и исследование его применимости для моделирования нагрузок в сетях нового поколения.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- собрать датасет реального трафика протоколов QUIC/HTTP/3;
- обучить генеративно-состязательную сеть для синтеза потоков, имитирующих реальные характеристики;
- провести оценку качества синтетического трафика по статистическим и сетевым метрикам;
- определить возможные области применения подхода.

В качестве исходных данных использовались фрагменты сетевого трафика, собранные при передаче мультимедийного контента и выполнении веб-запросов поверх HTTP/3 и QUIC. Для генерации синтетического трафика применялась архитектура GAN, включающая генератор, формирующий новые последовательности пакетов, и дискриминатор, обучаемый различать реальные и синтетические данные. Качество полученного трафика оценивалось по

распределениям размеров пакетов, межпакетным интервалам, показателям throughput, задержки и джиттера. Сравнение с эталонными данными показало, что предложенный подход позволяет воспроизвести ключевые характеристики сетевого трафика. Экспериментальные исследования подтвердили возможность применения GAN для генерации сетевого трафика, неотличимого по ряду статистических характеристик от реального. Синтетический трафик может использоваться для:

- нагрузочного тестирования сетевых сервисов и приложений;
- исследования устойчивости сетей нового поколения при пиковых нагрузках;
- обучения и тестирования систем мониторинга и обнаружения аномалий.

Использование генеративно-состязательных сетей для моделирования сетевого трафика открывает новые перспективы в области исследования и тестирования инфокоммуникационных систем. Предложенный подход позволяет создавать синтетический трафик, близкий к реальному по статистическим характеристикам, что особенно актуально для протоколов HTTP/3 и QUIC.

В дальнейшем планируется развитие метода в направлении генерации аномального и атакующего трафика для задач кибербезопасности, а также адаптация подхода к условиям сетей 5G/6G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы генеративно-состязательных сетей / Хабр. Автор: craxti. 31 марта 2023. URL: https://habr.com/ru/articles/726254/ (дата обращения: 03.09.2025).
2. Протокол QUIC: переход Web от TCP к UDP / Хабр, блог компании Инфопульс. Автор: tangro. 15 ноября 2016. URL: https://habr.com/ru/companies/infopulse/articles/315172/ (дата обращения: 03.09.2925).

GENERATION OF SYNTHETIC NETWORK TRAFFIC USING GAN FOR LOAD MODELING IN NEXT-GENERATION NETWORKS (HTTP/3, QUIC)

Bazhenov A. E.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers an approach to generating synthetic network traffic using generative adversarial networks (GAN). The proposed methodology is aimed at modeling loads in next-generation infocommunication networks that use the HTTP/3 and QUIC protocols. An analysis of the applicability of GAN to the task of reproducing the statistical properties of real network traffic is carried out, and the prospects of using the method for testing the performance and resilience of network services are demonstrated.

УДК 004.7

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Бухнер А.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современных условиях стремительного развития информационных технологий вопросы передачи и обработки информации приобретают особую актуальность [1]. Постоянный рост объемов данных и расширение возможностей их передачи создают новые вызовы для существующих систем обработки и хранения информации.

Основные проблемы передачи информации включают несколько ключевых аспектов. Прежде всего, это задержки при передаче данных в распределенных системах, которые существенно влияют на эффективность работы приложений реального времени [2]. Существенной проблемой являются потери пакетов в сетях передачи данных, что приводит к необходимости повторной передачи информации и снижению общей производительности системы [3].

Искажения при передаче информации из-за помех и шумов остаются актуальной проблемой, особенно в беспроводных сетях [4]. Масштабируемость систем при росте объемов трафика также вызывает серьезные трудности, поскольку традиционные архитектуры часто не справляются с экспоненциальным ростом данных [5]. Надежность каналов связи и оборудования требует постоянного контроля и совершенствования [6].

Современные методы обработки информации сталкиваются с рядом серьезных вызовов. Большие объемы данных требуют значительных вычислительных ресурсов, что влечет за собой высокие затраты на оборудование и электроэнергию. Разнообразие форматов информации усложняет процессы обработки и интеграции данных из различных источников.

Технологические решения в области передачи информации развиваются в нескольких направлениях. Активно разрабатываются протоколы передачи данных нового поколения, внедряются методы компрессии информации для оптимизации использования каналов связи [7]. Важную роль играет кэширование данных на промежуточных узлах и развитие технологий мультизадачности.

Обработка информации совершенствуется за счет внедрения облачных технологий, искусственного интеллекта и машинного обучения. Параллельные вычисления позволяют существенно повысить производительность систем обработки данных.

Перспективные направления развития включают квантовые вычисления для обработки больших массивов данных, разработку нейроморфных систем для имитации человеческого мышления, применение блокчейн-технологий для обеспечения целостности данных и развитие интернета вещей для расширения возможностей сбора информации.

Важным аспектом является развитие стандартов и протоколов, обеспечивающих совместимость различных систем передачи и обработки информации. Особое внимание уделяется энергоэффективности и экологичности решений в условиях растущих требований к производительности.

В заключение следует отметить, что эффективное решение проблем передачи и обработки информации требует комплексного подхода, включающего развитие технических средств, программного обеспечения и методологической базы. Только такой подход может обеспечить надежную и эффективную работу современных информационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.А., Петров В.В. Современные технологии передачи данных. – М.: Наука, 2024. – 256 с.
2. Сидоров П.П. Обработка больших данных: монография. – СПб.: Питер, 2023. – 312 с.
3. Кузнецов М.М., Морозов А.А. Протоколы передачи информации в современных сетях // Вестник телекоммуникаций. – 2024. – № 3. – С. 45-58.
4. Васильев В.В. Методы оптимизации обработки информации // Информационные технологии. – 2024. – № 2. – С. 67-79.
5. Николаев С.С. Развитие систем передачи данных: тенденции и перспективы // Телекоммуникации и информатика. – 2024. – № 1. – С. 89-102.
6. Михайлов А.А. Проблемы масштабируемости информационных систем // Прикладная информатика. – 2024. – № 4. – С. 112-125.
7. Смирнов Д.Д. Квантовые вычисления в обработке данных // Информационные системы. – 2024. – № 5. – С. 230-145.

GENERAL ISSUES OF INFORMATION TRANSMISSION AND PROCESSING

Bukhner A.A.
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article examines information transmission and processing challenges in the digital environment, focusing on issues arising from rapid technological development and data growth. Key problems include delays, packet loss, distortion, scalability limitations, channel reliability, high resource demands, and format integration complexity. Technological solutions involve new protocols, data compression, caching, multitasking, cloud computing, AI, parallel processing, quantum computing, neuromorphic systems, blockchain, and IoT. Effective solutions require an integrated technical, software, and methodological approach for reliable system operations.

УДК 621.391

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ КОРРЕКЦИИ ВЫРОЖДЕННЫХ МАТРИЦ В СИСТЕМЕ ПЕРЕСТАНОВОЧНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ

Шагарова А.А.

(Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева)

Применение коротких избыточных кодов в телекоммуникационных системах последних поколений определяется существенными временными ограничениями на задержку данных. При этом в наибольшей степени для таких систем приспособлен метод перестановочного декодирования (ПД). Схемы ПД систематических избыточных блоковых кодов позволяют повысить энергетическую эффективность систем передачи цифровых данных за счет потенциальной возможности исправлять ошибки более высокой кратности, чем это гарантируется при использовании метрики Хэмминга. Главными условиями реализации метода ПД является применение в процедуре декодирования мягких решений символов и формирования на этой основе информационного блока, состоящего из наиболее надежных символов. В последующем, кодирую эти символы на приемной стороне в отсутствии канальных помех некоторым эквивалентным кодом, получают вектор избыточного кода, который в соответствии с основным алгоритмом ПД сравнивается с вектором, принятым из канала связи, и за счет этого выявляются локаторы ошибок. Исправление таких ошибок в двоичных системах кодирования осуществляется за счет тривиальной инверсии символа основного кода, на который указывает локатор ошибки, и не вызывает трудностей. Исследования показали, что перестановка надежных символов на позиции информационных разрядов не всегда заканчивается успешно из-за вырожденности переставленной матрицы. Если первоначальная перестановка требует коррекции, то принятый вектор задерживается в системе обработки данных ПД для новой интерпретации перестановки и успешного решения задачи повышения достоверности данных. Однако это однозначно нарушает принцип конвейерной обработки поступающих данных, что повышает сложность реализации ПД.

Для решения этой задачи в ряде разработок используется метод когнитивной обработки данных, когда память ПД вводится три когнитивных карты (КК), одна из которых содержат данные об успешных перестановках, другая указывает на неудачные перестановки (определяют суть вырожденных матриц), третья карта выполняет диспетчерские функции и по виду перестановки направляет данные либо в первую карту и далее на выход ПД, либо во вторую карту для успешной коррекции перестановки и последующего ее направления в первую карту декодера [1]. Таким образом, вырожденность переставленной матрицы приводит к задержке данных, поскольку появляется обратная связь в процедуре коррекции вырожденной матрицы. В целях сокращения времени задержки данных во второй КК в ней имеются данные, запрещающие те или

иные шаги по коррекции переставленной матрицы. Это исключает метод проб и ошибок в указанной процедуре, но временные затраты неизбежны и контрпродуктивны. Следует указать, что физический и канальный уровень модели OSI взаимодействуют на нижнем уровне последнего при формировании мягких решений символов, их сортировки по убыванию надежности и последующего формирования на верхнем уровне канального уровня модели соответствующей перестановки данных. В классическом варианте ПД коррекция данных о перестановке осуществляется на верхнем уровне канального уровня модели OSI, это позволяет утверждать, что КК неудачных перестановок работает с комбинациями и матрицами, а это требует более высоких энергозатрат.

В качестве альтернативного варианта предлагается применять процедуру коррекции данных на предмет невырожденности переставленной матрицы на нижнем уровне. В этом случае ПД будет работать не с комбинациями и матрицами, а с проверочными соотношениями и символами. Для этого исключается КК третьего вида. Она трансформируется в карту неудачных перестановок с указанием запрещенных коррекций. Тогда на основании лучших проверочных соотношений за счет байесовского подхода к преобразованию данных повышаются оценки надежности символом именно тех нумераторов символов принятых кодовых векторов, которые обеспечивают невырожденность переставленной матрицы кода. При этом декодер в процедуре коррекции вектора работает не с вектором, а сего отдельными символами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладких А.А. Перестановочное декодирование как инструмент повышения энергетической эффективности систем обмена данными //Электросвязь. 2017. №8. С. 52-56

IMPROVEMENT OF THE PROCEDURE FOR CORRECTING DEGENERATE MATRICES IN THE PERMUTATION DECODING SYSTEM

A.A. Shagarova

(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev)

The use of short redundant codes in telecommunication systems of recent generations is determined by significant time constraints on data delay. At the same time, the permutation decoding (PD) method is most suitable for such systems. PD schemes of systematic redundant block codes make it possible to increase the energy efficiency of digital data transmission systems due to the potential to correct errors of a higher multiplicity than is guaranteed using the Hamming metric. Based on the best verification ratios, due to the

УДК 004.031.2

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ

[1]Ваняев Д.А., [2]Гладких А.А.

([1]Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, [2]Ульяновский государственный технический университет)

Роботы и робототехнические устройства уже давно играют значительную роль в жизни общества [1]. Для оптимизации их работы применяют технологии роя – группы роботов, автономно выполняющих поставленную задачу. Для связи внутри роя между роботами и с наземной станцией управления (НСУ) используют разные технологии связи: проводные и беспроводные. Существует большое количество разных типов робототехнических устройств. Одни из самых чувствительных к задержкам, скорости передачи являются беспилотные воздушные суда (БВС) в составе беспилотной авиационной системы (БАС). Поэтому необходим алгоритм, задача которого выделить из группы дронов отдельные кластеры и при необходимости в процессе работы изменять их конфигурацию.

Для корректного деления на кластеры требуется выделить основные критерии. В одном кластере могут находится робототехнические устройства различных типов: мобильные и стационарные, наземные и воздушные, подземные и подводные. В ходе исследования были выделены следующие критерии: задача кластера, тип робота, удалённость устройств друг от друга и от НСУ. Алгоритм должен работать как по команде, так и автономно при выполнении установленной задачи.

При формировании кластера необходимо определить тип кластера. Выбор производится из двух методов кластеризации [2]: жёсткая и мягкая. Их отличие заключается в распределении устройств по кластерам, при жёсткой кластеризации устройство может входить только в один кластер, в мягком устройства могут принадлежать нескольким кластерам. При формировании кластера используется иерархический алгоритм кластеризации, с использованием функций расстояния между кластерами [3] при выборе оптимального кластера для выполнения задачи. Этапы работы алгоритма представлены ниже:

1. Всем устройствам заранее присваиваются адреса в общей сети;
2. Всем устройствам присваиваются начальные параметры: выполняемая задача по полезной нагрузке, тип устройства, установленный износ устройства;
3. Оператор самостоятельно на НСУ указывает целевую функцию;
4. Алгоритм выбирает подходящие устройства по критериям и выдаёт дронам значение, по которому затем происходит распределение в кластеры. Значение указывает значение, подходит ли робототехническое устройство для выполнения данной задачи, от 0 до 1.

5. Из получившегося списка устройств алгоритм выбирает наиболее подходящие и формирует из них кластер, выдавая кластеру кодовое слово. Для организации точной связи между устройством и НСУ каждому дрону присваивается номер в кластере. В процессе обмена сообщениями НСУ и устройство подтверждают получение и установку кодового слова.
6. После формирования кластера и отправке кодовых слов происходит дальнейшая работа кластера и наблюдение оператором за выполнением задачи.
7. По итогу выполнения задачи кластер может быть расформирован или перейти в режим ожидания следующей задачи.

В работе определены критерии и требования к алгоритму автоматического формирования кластеров робототехнических устройств для организации связи. Возможны два способа формирования кластеров: жёсткий и мягкий кластер. Критерии, по которым алгоритм формирует кластер из робототехнических устройств: задача кластера, тип робота, удалённость устройств друг от друга и от НСУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башилов, А. М. Беспилотные технологии в системах аграрного производства / А. М. Башилов, В. А. Королев // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 5(144). – С. 43-56. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-5-43-56. – EDN EEDXDV.
2. Егоров, А. В. Особенности методов кластеризации данных / А. В. Егоров, Н. И. Куприянова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 11(124). – С. 174-178. – EDN OJCYUZ.
3. Уиллиамс У. Т., Ланс Д. Н. Методы иерархической классификации // Статистические методы для ЭВМ / Под ред. М. Б. Малютов. — М.: Наука, 1986. — С. 269–301.

ALGORITHM FOR AUTOMATIC FORMATION OF CLUSTERS OF ROBOTIC DEVICES FOR COMMUNICATION ORGANIZATIONS

[1]Vanyaev D.A., [2]Gladkikh A.A
([1]Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics,
[2]Ulyanovsk State Technical University)

The paper describes the relevance of the research and defines the criteria and requirements for an algorithm for automatically forming clusters of robotic devices for communication purposes. There are two possible ways of forming clusters: hard and soft clusters. The algorithm uses the following criteria to form a cluster of robotic devices: the cluster's task, the robot type, and the distance between the devices and the GCS.

УДК 004.891.2

БУДУЩИЕ МЕТОДЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТЕКСТА, СГЕНЕРИРОВАННОГО ИСКУССТВЕННЫМИ НЕЙРОСЕТЯМИ

Яковенко И. Ю., Богатина В. А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Концепция искусственных нейронных сетей появилась в XX веке. В 1958 году Фрэнк Розенблатт разработал первую обучаемую модель — перцептрон. В 2020 году компания OpenAI представила GPT-3, способную генерировать связный текст и отвечать на вопросы, что стало поворотным моментом в развитии языковых моделей. За последние годы темпы их развития значительно ускорились. Высокое качество создаваемого текста привело к новой задаче — определению источника текста. Возник спрос на детекторы, способные различать тексты, написанные человеком и ИИ. Такие системы важны для образования, СМИ, юриспруденции и кибербезопасности [1]. Однако, несмотря на активные исследования 2023–2025 гг., универсального и надёжного метода детектирования пока не существует.

На сегодняшний день можно выделить три основных подхода к детектированию текста, созданного искусственным интеллектом. Один из них — статистический анализ, основанный на изучении перплексии и распределения токенов. Например, системы GPTZero и OpenAI Detector определяют тексты по характерным статистическим закономерностям, типичным для языковых моделей [3]. Недостатком таких методов является их сравнительно низкая точность (около 25–35 %) и уязвимость к перефразированию или переводу текста на другой язык. Методы обратной вероятности проверяют текст на соответствие распределению конкретной модели. Такой подход используется в DetectGPT [3]. Он показывает более высокую точность (до 60–70 %), но остаётся уязвим к изменениям текста и требует значительных вычислительных ресурсов. Лингвистические методы используют анализ стиля, синтаксиса и семантических связей текста [3]. Существенным недостатком является зависимость методов от языка, жанра и тематики текста, что ограничивает их универсальность и стимулирует поиск новых решений.

Одним из самых перспективных направлений считается использование водяных знаков и скрытых паттернов. При генерации контента моделью искусственно смещаются вероятности выбора определённых токенов [4]. Метод устойчив к редактированию, но требует участия разработчиков LLM [2]. Другой подход предлагает стеганографически изменять готовый текст, внедряя невидимые символы, особые варианты пунктуации или микропаттерны. Метод легко реализуется как при генерации, так и при анализе текста, однако нестандартные символы и лишние пробелы могут быть удалены при копировании и форматировании, что снижает эффективность. Также возможно встраивание особых ключей на этапе обучения модели, добавляющих секретные паттерны в её архитектуру. Данный метод обеспечивает высокую точность и

устойчивость, но требует модификации модели. Перспективным направлением являются гибридные мультиязычные детекторы, сочетающие статистический анализ, водяные знаки и лингвистические методы для повышения точности и адаптивности. Однако эти подходы пока остаются на стадии исследования и имеют ограничения.

Перефразирование и машинный перевод полностью разрушают большинство паттернов, делая текст практически неотличимым от человеческого [1]. Смешение текста, созданного ИИ и человеком, также усложняет задачу, порождая этические и юридические проблемы — от неопределённости авторства до ограничения легитимного использования ИИ.

На данный момент задача надёжного детектирования текста, созданного искусственным интеллектом, остаётся открытой и актуальной. Развитие систем детектирования и языковых моделей должно идти параллельно, чтобы обе технологии развивались сбалансированно. Важно отметить, что ИИ-детекторы не должны превращаться в инструмент ограничения применения языковых моделей. Их задача — поощрять ответственное использование ИИ как инструмента для вдохновения и помощи, а не для получения готовых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Памятка по работе с искусственно сгенерированными текстами. — Компания «Антиплагиат», 2023. С. 1–2.
2. Евглевская Н. В. Обеспечение безопасности сложных систем с интеграцией больших языковых моделей: анализ угроз и методов защиты. — Открытая наука / CyberLeninka, 2024. С. 129–141.
3. Осипенко Л. Е. Текстовые генеративные нейросети в исследовательской деятельности студентов. — Открытая наука / CyberLeninka, 2024. С. 2–4.
4. Kirchenbauer J., Geiping J., Wen Y., Katz J., Miers I., Goldstein T. A Watermark for Large Language Models. arXiv:2301.10226, 2023. P. 5–13

FUTURE METHODS FOR DETECTING TEXT GENERATED BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Yakovenco I. Yu., Bogatina V. A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines current and emerging methods for detecting texts generated by large language models. It analyzes existing approaches and their limitations, including statistical analysis, probability-based methods, and linguistic approaches. Particular attention is given to promising directions such as digital watermarks, latent patterns, and combined systems. The conclusion is drawn that the future of AI detectors lies in hybrid methods capable of adapting to different languages and genres while providing higher accuracy in determining text origin.

УДК 004.056.53

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ КОДИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Зиянбаева А.Р., Кузнецов И.В.
(Уфимский университет науки и технологий)

Исследования дифференциальных методов кодирования связаны с ростом требований к энергоэффективности систем передачи сообщений [1]. В основе метода дифференциального кодирования сигналов лежит принцип передачи не абсолютного значения отсчёта, а разности между текущим отсчётом и его предсказанным значением. Это позволяет сократить динамический диапазон сигнала и, следовательно, уменьшить разрядность передаваемых данных [2]. Эффективным методом бинарного кодирования в рамках данного принципа может стать дельта модуляция так как это связано с уменьшением динамического диапазона передаваемых сообщений.

Дельта-модуляция позволяет свести кодирование к одному-двум битам на отсчёт. Она предлагает простоту реализации, повышенное отношение SNR, снижение избыточности и уменьшение пропускной способности к каналу по сравнению с классической ИКМ, а также обеспечивает быструю и надёжную передачу без превышения амплитуды полезного сигнала. Ключевое свойство метода — марковость сигнала (следующее состояние зависит только от текущего). Однако классическая дельта-модуляция обладает недостатками: повышенная частота дискретизации (в 2–3 раза выше ИКМ), ошибки «перегрузки по крутизне» при резких изменениях, гранулярный шум при малых амплитудах, ограниченную точность с фиксированным шагом квантования, необходимость использования предиктора, а также сложности при групповом и многоканальном применении ДИКМ.

В целях преодоления перегрузки по крутизне и повышения помехоустойчивости предлагается модифицированный алгоритм кодирования. Подход использует преимущества дифференциального кодирования и дельта-модуляции, расширяя их за счёт введения адаптивного управления опорным уровнем — «флажком», а также применением заранее заданной фиксированной длины кодирования разностей. При этом количество бит, отведённых на кодирование, остаётся постоянным для всех передаваемых значений, независимо от их абсолютного размера.

Шаг 1. Инициализация: задаётся начальное состояние Марковской цепи, диапазон состояний и вероятности переходов между соседними значениями. Устанавливаются параметры кодирования: фиксированный порог обновления опорного значения (флажка) и максимальный допустимый диапазон разностей. Флажок и счётчик синхронизируются на передающей и приёмной сторонах.

Шаг 2. Анализ входного сигнала: на каждом такте поступает новый отсчёт кодируемого сигнала, значение которого предполагается близким к текущему опорному уровню. Из-за постепенных изменений сигнала (по модели

Марковской цепи) кодируется не сам отсчёт, а его разность с флажком, что сокращает объём данных.

Шаг 3. Кодирование разностей: вычисляется разность между текущим состоянием и флажком; если она в пределах диапазона, кодируется фиксированным числом бит, иначе отправляется код обновления. При условии x mod N = 0 или выходе за диапазон флажок устанавливается в текущее значение, счётчик сбрасывается, а период обновления задаётся модулем N.

Шаг 4. Восстановление и декодирование: приёмник восстанавливает состояния, прибавляя полученные разности к опорному значению. Особый код запускает процедуры обработки превышений. Флажок регулярно обновляется синхронно с передающей стороной для точного восстановления данных.

Для последовательности 0, 1, 2, 3, 4 начальный флажок = 0. На каждом шаге кодируется разность с флажком. При условии x mod N = 0 флажок обновляется до текущего значения. Например, значение 4 передается как 001 (разность 1), так как флажок обновлен до 3.

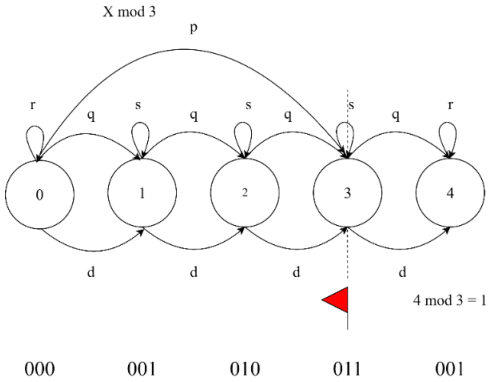


Рис. 1. Граф Марковской цепи и пример кодирования для последовательности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов П. Е. Повышение эффективности энергодефицитных многоканальных систем связи на основе координированного преобразования сигналов/Филатов ПЕ //Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016»(ПРЭФЖС-2016)–Международная научно-техническая конференция.–2016,–С. – 2016. – С. 143-148.

2. Иванов В. В. Координированная дифференциальная обработка сигналов для эффективного кодирования сообщений многоканальных систем связи с однотипными каналами

ON A DIFFERENTIAL MODULATION CODING ALGORITHM

Ziyanbaeva A.R, Kuznetsov I.V.,
(Ufa University of Science and Technology)

This paper proposes a differential delta-modulation algorithm that encodes only the difference between each sample and a synchronized reference level. Using fixed-length codes and an adaptive “flag” update, it prevents overload errors and reduces bit-rate requirements.

УДК 621

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПОНЯТИЯ «ФИЗИЧЕСКИЙ ВАКУУМ» (ФВ) В СВЕТЕ ПОСЛЕДНИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Жуков С.В., Топоркова Л.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Существует огромное множество попыток описания природы и свойств ФВ. Рассмотрим определенную линию в эволюции этого понятия, которая, по-видимому, приводит к наиболее близкому объяснению последних достижений в экспериментальной базе.

Еще в 1906 г. Д.И. Менделеев опубликовал периодическую таблицу химических элементов, где первым элементом был не водород, а Ньютоний: «*Мировой эфир есть субстанция ВСЯКОГО химического элемента и значит – ВСЯКОГО вещества, есть Абсолютная истинная материя как Всемирная элементообразующая Сущность».*

Основой модели Дирака ФВ является общее соотношение Эйнштейна

$$E^2=c^2(m^2c^2+p^2)$$

между энергией и импульсом свободной частицы, которое в дополнение к положительному решению допускает также отрицательный корень в квантовой теории. Однако в квантовой механике такой переход допустим в результате квантового скачка через запрещенную область (энергетическую щель). Основными выводами модели ФВ Дирака, кроме введения понятия «море Дирака», можно считать возможность существования устойчивых связанных состояний из двух фермионов, которые подчиняются законам квантования и могут участвовать в упругом и неупругом взаимодействии. Причем у этих образований скомпенсированы спины, заряды и энергии, что в обычных условиях делает их не обнаруживаемыми. Экспериментально возможность существования подобных образований была доказана появлением позитронов при воздействии жесткого гамма кванта на ФВ в сильном электростатическом поле тяжелого атома. Как показал Швингер, без использования туннельного эффекта, напряженность поля должна быть 10^{16} В/м, например, на боровской орбите напряженность 10^9 В/м.

В 1980 г. А.Е. Акимов назвал дираковские образования фитонами и предположил, что структурно ФВ состоит из связанных между собой фитонов, составляющих подобие кристаллической структуры. Причем, как в отдельных фитонах, так и во всей структуре работают законы квантовой механики. Базисными параметрами, определяющими состояние отдельного фитона являются заряд частиц и спин. Различные типы зарядовой поляризации определяют электрическую поляризацию ФВ [1], поляризация спинов (поворот в гравитационном поле) определяет гравитационное поле [2]. Кроме этого, момент импульса (спин) в динамических эффектах порождает специфическое спинорное поле, которое отвечает за передачу информации. Исходя из того, что

спинорное поле может распространятся со скоростью значительно большей скорости света и переносить информацию, но не энергию, возникает возможность связи спинорных полей с такими явлениями как квантовая запутанность (квантов механическое явление, при котором квантовые состояния объектов оказываются взаимосвязанными) и квантовая телепортация. Так, в 2008 году, удалось развести два потока запутанных фотонов на расстояние 18 км, причем скорость распространения должна, как минимум в 100000 раз, превышать скорость света в вакууме.

Таким образом, ФВ заполнен спинорными волнами подобно электромагнитным волнам с разницей в том, что спинорные волны не переносят энергии и распространяются со скоростями, значительно превышающими скорость света в вакууме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков С.В., Л.В. Топоркова Л.В. Фитонная природа гравитационной постоянной// Материалы XXVI Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (ПТИТТ-2024), г. Самара, ПГУТИ, 2024, с.15-16
2. Жуков С.В., Топоркова Л.В. Природа электростатического взаимодействия на основании анализа закона Кулона исходя из фитонной модели физического вакуума// Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях» (ОТТ-2024), г. Самара: ПГУТИ, 2024, с.192-193

STAGES OF DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF "PHYSICAL VACUUM" (PV) IN LIGHT OF THE LATEST TECHNOLOGICAL ACHIEVEMENTS AND EXPERIMENTS

Zhukov S.V., Toporkova L.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines the evolution of the development of the concept of physical vacuum. It is shown that spin in dynamic effects generates a spinar field, which is responsible for the transmission of information.

УДК 621.396.94

ВНЕШНЯЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА И ЕЁ РОЛЬ В МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕНН

Валиуллин Р.М., Табаков Д.П.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При моделировании электродинамических свойств разрабатываемых антенн существует необходимость анализа как излучаемого ей в окружающее пространство внешнего поля, так и распределения поля внутри самой структуры антенны. Эти две задачи соответственно обозначаются внешней и внутренней электродинамическими задачами.

То есть под внешней задачей понимается определение полей в пространстве за пределами области, которую занимает источник (или приёмник). А под внутренней задачей понимается определение полей внутри ограниченной области пространства, заполненной материалом с определёнными электрофизическими свойствами.

Пусть область V содержит антенну, а ∂V её поверхность. Электромагнитное поле представим в виде (**E**, **H**). Если мы найдём **E**, то ни составит сильного труда найти **H.** Тогда для внешней задачи решается интегральное уравнение (1):

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \int_{dV} \hat{G}(\mathbf{r},\mathbf{r}')\mathbf{J}(\mathbf{r}')dS'. \qquad (1)$$

В (1) $\hat{G}(\mathbf{r},\mathbf{r}')$ — тензорная функция Грина, а $\mathbf{J}(\mathbf{r}')$ распределение поверхностных токов [1].

Решение внешней электродинамической задачи имеет ключевое значение в антенной теории, так как именно она описывает свойства излучаемого антенной электромагнитного поля в открытом пространстве. [2] Приведём основные такие свойства. Расчёт диаграммы направленности дальнего поля, с помощью неё можно определить интенсивность излучения в пространстве, её направленность. Определение диаграммы направленности ближнего поля, особенно важно для проектирования систем ближней связи, таких как RFID, NFC, а также для медицинской сферы (метод радиочастотной гипертермии, заключающийся в создании высокой температуры в злокачественной опухоли используя высокоэнергетические радиоволны). Оценка КПД, внешняя задача позволяет вычислять энергетические характеристики, включая эффективность преобразования входной энергии в излучение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов О.В., Табаков Д.П., Морозов С.В. Электродинамика и распространение радиоволн // С.: ИНУЛ ПГУТИ, 2021. 290 с.
2. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн // М.: Радиотехника, 2009. 720 с.

EI THE EXTERNAL ELECTRODYNAMIC PROBLEM AND ITS ROLE IN ANTENNA MODELING

Valiullin R.M., Tabakov D.P.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This This article describes the differences between the internal and external electrodynamic problem. The integral equation for solving an external problem, the value of the solution for antenna theory, is given.

УДК 537.862

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЕГО ИМПЕДАНСА

Табаков Д.П., Николаева К.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Актуальность рассматриваемой задачи связана с тем, что многие антенны, работающие в режиме стоячих волн тока (в частности, вибраторные и рамочные [1]), используются в резонансных режимах. Во многих случаях целесообразным представляется построение эквивалентной схемы антенны в виде последовательного или параллельного колебательного контура, предполагающее определение его характеристик: нормированной частоты резонанса x_r, активного сопротивления R, добротности Q, характеристического сопротивления ρ, а также нормированных емкости $C' = C \cdot (\omega_r / x_r)$ и индуктивности $L' = L \cdot (\omega_r / x_r)$. Здесь ω_r [рад/с] – угловая частота резонанса. В качестве исходных данных используются табличные значения импеданса $Z_i = R_i + jX_i$, соответствующие значениям нормированной частоты x_i ($\{x_i, Z_i\}$, $i = 1...N$), при этом имеется такое значение $k \in [1; N-1]$, для которого $x_k \le x_r \le x_{k+1}$. Здесь R_i, X_i – соответственно активная и реактивная часть импеданса на i–й частоте, N – число табличных значений. Расчет значения x_r осуществляется поиском корня табличной функции $\{x_i, X_i\}$. После определения x_r можно вычислить значение активного сопротивления R при резонансе. Ширина полосы $\Delta x = x_b - x_a$ определяется методом поиска ближайших к x_r корней x_a и x_b табличной функции $\{x_i, F_i\}$, удовлетворяющих условию $x_a < x_r < x_b$, где $F_i = |Z_i'| / R - \sqrt{2}$ для последовательного и $F_i = R / |Z_i'| - \sqrt{2}$ для параллельного резонансов, $|Z_i'|$ – значения производной модуля импеданса, определяемые на основе табличных значений $\{x_i, |Z_i|\}$. При вычислении R, x_r, x_a и x_b можно использовать различные методы интерполяции [2]. Порядок интерполяционных полиномов определяет точность определения указанных величин. После этого можно вычислить остальные параметры контура: добротность $Q = x_r / \Delta x$, характеристическое сопротивление $\rho = RQ$ для последовательного и $\rho = R / Q$ для параллельного контура, а также нормированные емкость $C' = 1 / (\rho x_r)$ и индуктивность $L' = \rho / x_r$. Оценить относительную погрешность полученных величин можно с помощью выражения $\delta_x[\%] = 100 \cdot |x - x^*| / x^*$, где $x \equiv x_r, R, Q, \rho, L', C'$. Звездочкой обозначены точные

значения величин, полученные по аналитическим формулам для соответствующего колебательного контура, без звездочки указаны величины, получаемые для того же колебательного контура предложенным методом с помощью табличной функции $\{x_i, Z_i^*\}$ $(i = 1...N)$, сгенерированной на основе строгих выражений для импеданса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн./ Под ред. В.А. Неганова. — М.: Радиотехника, 2009. — 720 с. — ISBN 978-5-88070-222-0

2. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы — М.: Лаборатория базовых знаний, 2000 г. — 624 с. — ISBN 5-93208-043-4

DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF AN OSCILLATOR CIRCUIT BASED ON THE STUDY OF THE FREQUENCY DEPENDENCE OF ITS IMPEDANCE

Tabakov D.P., Nikolaeva K.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In many cases, it seems appropriate to construct an equivalent antenna circuit in the form of a series or parallel oscillatory circuit, which involves determining its characteristics: normalized resonance frequency, active resistance, quality factor, etc. As initial data, tabular impedance values are used, on the basis of which an approximate calculation of the specified characteristics is made. The relative error of the obtained values can be estimated using the exact values of the quantities obtained by analytical formulas for the corresponding oscillatory circuit, and the quantities obtained for the same oscillatory circuit by the proposed method using a tabular function generated on the basis of strict expressions for impedance.

УДК 537.862

ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА МЕТАСТРУКТУРЕ С РЕЗОНАНСНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Табаков Д.П., Аль-Нозайли Б.М.А., Майоров А.Г.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Рассмотрена задача дифракции на тонкой метаструктуре размера $L_x \times L_y$ (Рис.1), состоящей из конических спиральных элементов максимального размера $2r_{\max}$ (Рис.2), возбуждаемой плоской линейно-поляризованной электромагнитной волной (ПЭМВ). Число элементов метаструктуры вдоль соответствующих осей обозначены как N_x и N_y, а расстояния между соседними элементами – как h_x и h_x.

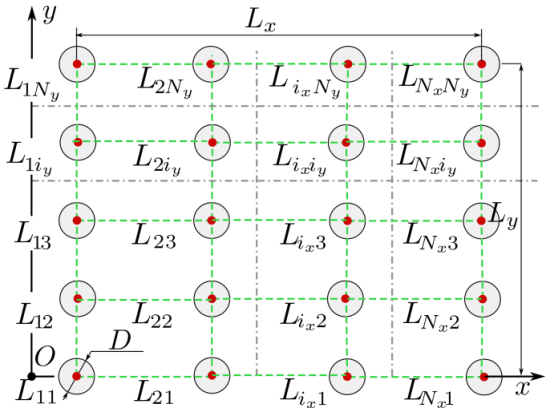


Рис.1. Геометрия метаструктуры

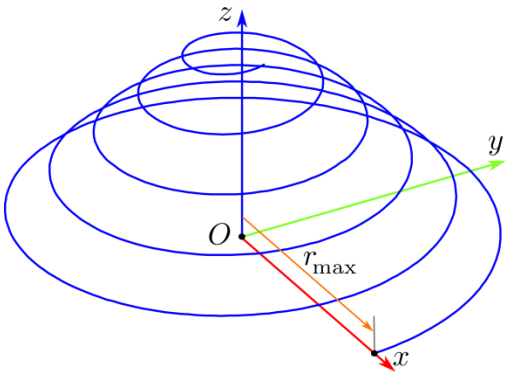


Рис.2. Геометрия спирали

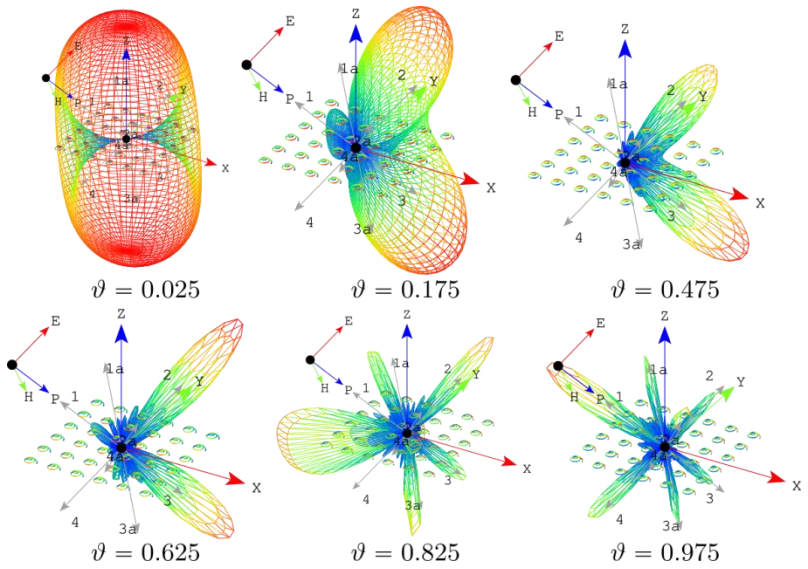


Рис.3. Диаграммы рассеянного электромагнитного поля

Математическая модель метаструктуры построена в тонкопроволочном приближении на основе интегральных представлений электромагнитного поля

[1]. В рамках модели можно менять число элементов и их параметры (размер, число витков, межвитковое расстояние и пространственную ориентацию), межэлементное расстояние, угол падения и поляризацию ПЭМВ. Решение внутренней задачи осуществлялось методом моментов, решение получаемой при этом СЛАУ – модифицированным методом Гаусса-Зейделя, предложенным одним из авторов ранее [2]. На Рис.3 показаны результаты расчета рассеянного поля для структуры 6x6 одинаково ориентированных элементов в случае бокового возбуждения (векторы ПЭМВ также представлены на рисунке) при различных значениях $\theta = h_x / \lambda, h = h_x = h_y,$ где λ – длина волны излучения. Результаты серийных вычислений диаграмм рассеянного поля (ДР) позволили сделать следующие выводы: (1) При малых θ ДР слабо зависит от направления падения ПЭМВ и не проявляет выраженных направленных свойств; (2) С ростом θ способствует формированию лепестков рассеяния, ширина которых уменьшается с ростом N_x, N_y и θ. с преимущественным сохранением направлений максимумов. Лепестки малой ширины целесообразнее ассоциировать с лучами, предельное значение угловой дисперсии которых определяется значениями N_x, N_y; (3) Число лучей и их направления зависят от угла падения ПЭМВ, т.е. метаструктура проявляет анизотропные свойства; (4) Наибольшие отличия ДР для метаструктур с хаотической и регулярной ориентацией элементов возникают в окрестности частот резонансов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания, регистрационный номер НИОКТР 125061106927-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Майоров А.Г. Метод собственных функций в теории тонкопроволочной структуры // Радиотехника. 2025. Т. 89. № 8. С. 75−88.

2. Неганов В.А., Марсаков И.Ю., Табаков Д.П. Расчет взаимодействия элементов метаструктуры на основе метода Гаусса — Зейделя // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. — 2013. — Т. 16, № 3. — С. 7–16.

DIFFRACTION OF A PLANE ELECTROMAGNETIC WAVE ON A METASTRUCTURE WITH RESONANT ELEMENTS

Tabakov D.P., Al-Nozaili B. M. A., Mayorov A.G.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problem of diffraction by a thin metastructure consisting of conical spiral elements excited by a plane, linearly polarized electromagnetic wave is considered. A mathematical model of the metastructure is constructed in the thin-wire approximation. Calculation results for the electromagnetic field scattered by the metastructure are presented.

УДК 654.16

КОГНИТИВНОЕ РАДИО В СЕТЯХ 6G

Дудинов В.Н, Мешков И.К
(Уфимский Университет Науки и Технологий)

В современном мире количество беспроводных устройств стремительно растёт, что требует разработки эффективных методов использования радиочастотного спектра и минимизации взаимного влияния приборов друг на друга.

Сети 6G представляют собой следующее поколение мобильной связи, которое ожидается к развертыванию после 2030 года. Они будут обеспечивать беспрецедентную скорость передачи данных — до 1 Тбит/с. Ключевыми особенностями станут интеграция искусственного интеллекта для управления сетью, поддержка голографической связи и тактильного интернета.

Проблема электромагнитной совместимости в наше время стоит очень остро т. к. количество устройств, использующих радиочастотный спектр продолжает расти, а требования стандартов по ЭМС ужесточаются [1]. Несоблюдение требований ЭМС приводит к значительному увеличению затрат на всех этапах разработки (Рис.1).

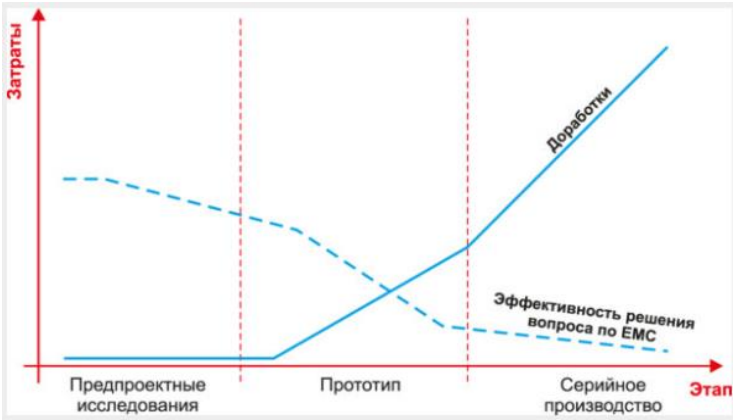


Рис. 1. Распределение затрат на выполнение требований по электромагнитной совместимости в зависимости от этапа работ

В худшем случае нарушение стандартов электромагнитной совместимости может привести к созданию помехи одним устройством для другого.

Обратив внимание на радиочастотный спектр, традиционные схемы его распределения не удовлетворяют растущим потребностям. Значительный объем лицензированного спектра либо используется недостаточно, либо не используется большую часть времени. Данные зависимости использования радиочастотного спектра от местоположения и времени, колеблется от 16% до 87% [2]. Это указывает на то, что проблема заключается не в дефиците спектра, а в неэффективности текущей схемы его использования. Эти результаты проложили путь к динамичным и инновационным методам доступа к спектру,

которые гарантируют отсутствие помех для лицензированных пользователей, оплативших спектр. Не мешая работе уже лицензированных пользователей, технология Cognitive Radio (CR) позволяет получать доступ к лицензированному эфиру, пользователям, не имеющим преимущественного права. Фундаментальная идея когнитивного радио заключается в способности воспринимать и адаптироваться к изменениям в радиосреде.

Основная функция когнитивного радио заключается в определении доступного спектра в пространстве, времени и частоте, а также динамическом обновлении его параметров. Технология использует спектральное зондирование для выявления свободных диапазонов [3].

В сетях 6G возникают значительные вызовы, связанные с эффективным использованием радиочастотного спектра, управлением интерференцией, адаптацией к изменяющимся условиям сети, а также обеспечением устойчивости при высокой плотности устройств и разнообразных сценариях связи.

Технология когнитивного радио выступает решением этих проблем, предоставляя интеллектуальные механизмы для анализа спектра, прогнозирования сетевых условий и динамического выбора оптимальных параметров связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от которой не уйти // Компоненты и технологии. 2017. №7.
2. Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков. От подключенных людей и вещей к подключенному интеллекту. / пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 624 с.: ил.
3. Sharad Jain, Indra Kumar Shah, Neha Singh Rathaur, Yogendra Singh Dohare, Neeraj Shrivastava, Angeeta Hirwe, “Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio Based Wireless Regional Area Network: A Review”, 2025, IEEE.

COGNITIVE RADIO IN 6G NETWORK

Dudinov V.N, Meshkov I.K
(Ufa University of Science and Technology)

The article examines cognitive radio technology as a solution for efficient spectrum management in 6G networks. The rapid growth of wireless devices creates challenges for radio frequency spectrum utilization. Cognitive radio addresses spectrum inefficiency and electromagnetic compatibility issues by dynamically identifying and utilizing unused frequencies.

The research emphasizes the technology’s ability to adapt to changing network conditions and minimize interference through intelligent spectrum sensing. The paper also highlights the potential of cognitive radio to optimize spectrum usage in high frequency 6G bands and ensure reliable communication in complex network environments.

УДК 621.391.812

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ WI-FI СЕТЕЙ

Голубничая Е.Ю., Кононец А.М.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

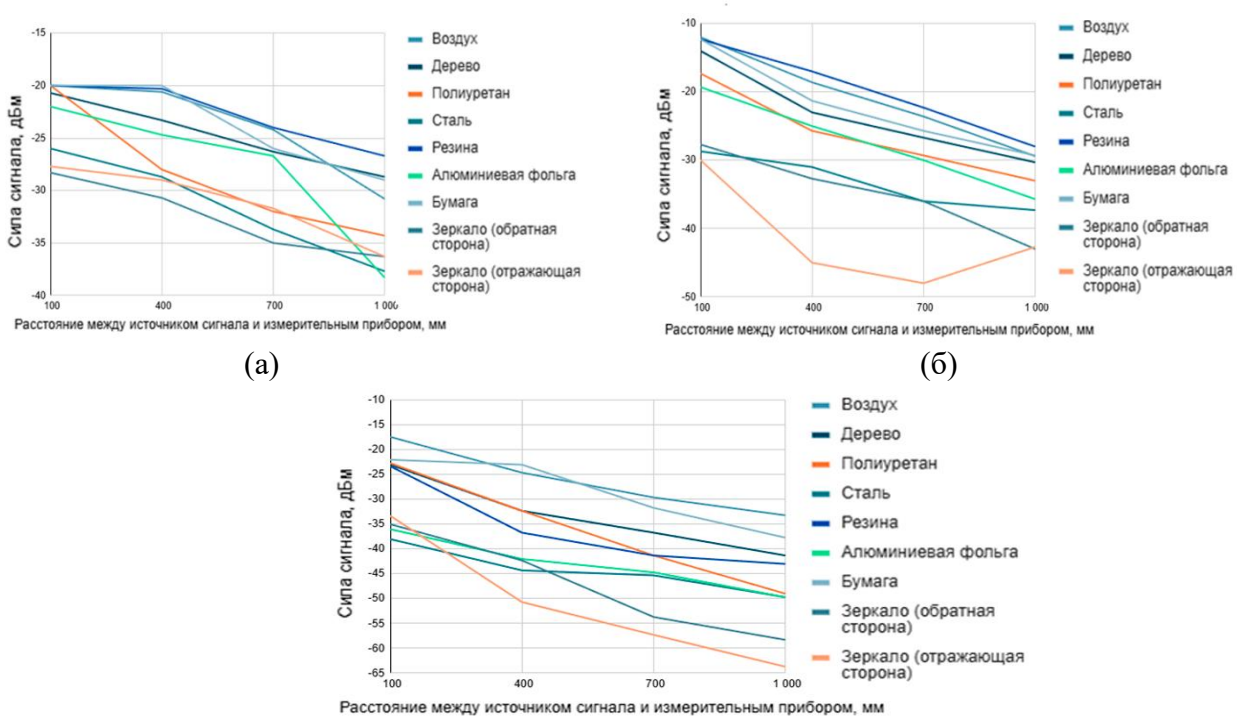
При этом для современных абонентов важно не только наличие доступа к беспроводной сети, но и показатели качества функционирования такой сети. Безусловно, уровень принимаемого сигнала (Received Signal Strength Indicator, RSSI) зависит не только от расстояния до точки доступа, но и от материалов через которые проходит сигнал [1].

В данной работе представлены результаты измерения значений RSSI при разных расстояниях от источника сигнала в зависимости материалов препятствий (частотный диапазон 2.4 ГГц). В качестве источника сигнала использовался усилитель AC1200M, который функционирует в режиме маршрутизатора. Для измерения значений RSSI использовался комплекс инструментов, включающий приложения «WiFiman» и «Wi-Fi метр», а также самодельный измеритель. Указанные приложения, были установлены на смартфон Realme Note 8 Pro, работающий на Android 12. Самодельный измеритель (прибор) был спаян из простого дисплея и платы на базе чипа ESP8266 ESP-12, который имеет Wi-Fi модуль с поддержкой IEEE 802.11 b/g/n (в качестве ручки и источника питания выступает повербанк) (Рис. 1).

(а) (б)

Рис. 1. Самодельный измеритель RSSI: (а) внешний вид; (б) схема пайки

Каждый из используемых в исследовании инструментов предоставляет возможность измерить значения RSSI в дБм, что позволяет сравнить как точность и надежность инструментов, так и влияние материалов на проходящий сквозь них сигнал (Рис. 2). В качестве материалов, представляющих помеху сигналу, использовались сталь, дерево, резина, зеркало, алюминиевая фольга, полиуретан и бумага. Во время исследования было замечено, что оба приложения для смартфона измеряли значение на протяжении трех секунд, а пользователю выводилось среднее целое значение.



(а) (б)

(в)

Рис. 2. Результаты измерения значений RSSI в зависимости от материала препятствия: (а) посредством приложения «WiFiman»; (б) посредством приложения «Wi-Fi метр»; (в) посредством самодельного измерителя

Анализируя представленные на Рис. 2 результаты исследования уровня RSSI посредством различных средств, наглядно видно не только то, что с увеличением расстояния от приемника радиосигнала до получателя, уровень RSSI снижается, но и то, что среда распространения оказывает непосредственное влияние на значение RSSI. При этом наибольшее влияние на снижение уровня Wi-Fi сигнала оказывает зеркало, направленное отражающей поверхностью в сторону источника сигнала (минимальный RSSI – -63.7 дБ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климов Е.В., Свитова М.М. Анализ показателей качества обслуживания пользовательского трафика в сети беспроводного доступа // Материалы 64 Студенческой научной конференции (г. Самара, 10 – 19 марта 2025 г.). Самара: ПГУТИ, 2025. С. 231-232.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE RADIO WAVE PROPAGATION ENVIRONMENT ON THE FUNCTIONING OF WIRELESS WI-FI NETWORKS

Golubnichaya E.Yu., Kononec A.M.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of an experimental study on the influence of the obstacle material in a wireless Wi-Fi network on the level of the received signal.

УДК 621.391:519.6

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛЬНЫХ РАДИОСИСТЕМ НА РАБОТУ АНАЛОГО-ИНФОРМАЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Карпов В.Н.

(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Ключевой проблемой практического внедрения алгоритмов аналого-информационного преобразования (АИП) на базе случайного демодулятора (Рис. 1) [1] является комплексное взаимное влияние параметров реальных радиосистем, приводящее к неизбежному расхождению между теоретическими расчетами и экспериментальными результатами. Теоретическая эффективность, доказанная для идеальных условий [2], требует существенной корректировки при учете характерных для аппаратной реализации факторов. В рамках данного исследования проводится анализ влияния трех ключевых деградирующих составляющих: шумовых характеристик, нелинейных искажений и разрядности аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

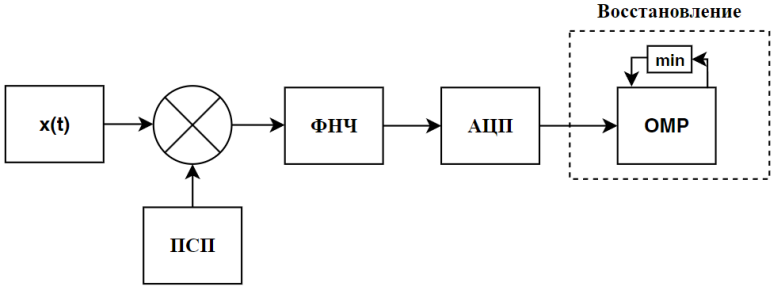


Рис. 1. Схема работы АИП на базе случайного демодулятора

Первоначально было проведено исследование влияния каждого из трех факторов по отдельности. Моделирование выявило пороговый характер зависимости вероятности успешного восстановления сигнала для системы с АИП от отношения сигнал-шум (ОСШ). Область неработоспособности системы сменяется зоной резкого роста эффективности, после которой достигается стабильно высокий уровень восстановления. Анализ влияния нелинейных искажений, источником которых являются активные компоненты аналогового тракта, также показал наличие четкого порога. При сильной нелинейности работа алгоритма критически нарушается из-за генерации паразитных спектральных компонент, однако после определенного уровня искажения перестают быть лимитирующим фактором. Исследование влияния разрядности АЦП продемонстрировало, что при малой разрядности ошибка квантования приводит к неудовлетворительным результатам, но с ее увеличением влияние этого фактора уменьшается, и система выходит на режим стабильной работы.

Комплексное моделирование с учетом всех исследуемых факторов показало, что для радиосистемы, приближенной к реальным условиям, алгоритм АИП обеспечивает успешное восстановление для сигналов, содержащих до 19 спектральных компонент (Рис. 2).

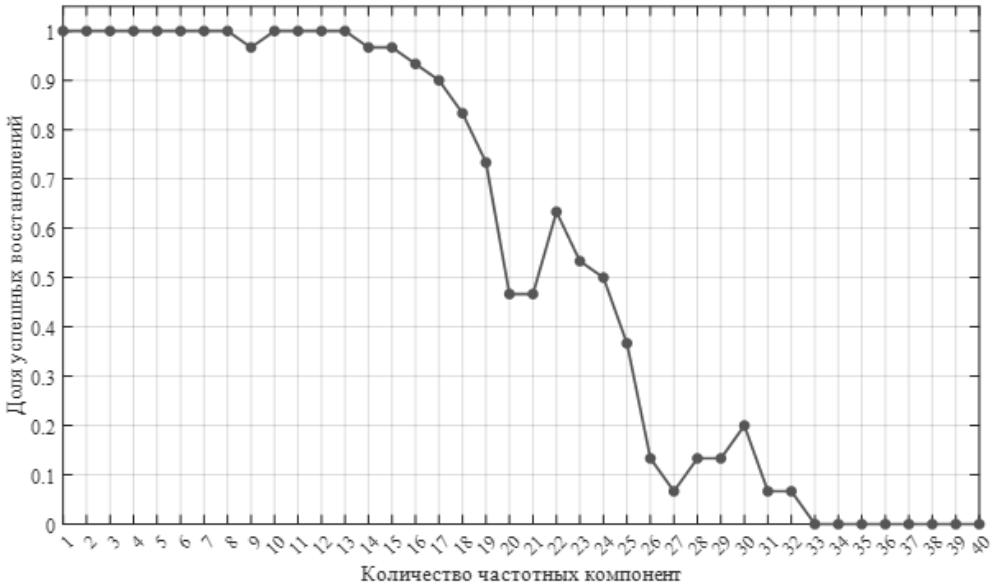


Рис. 2. Зависимость восстанавливаемости сигнала от количества спектральных составляющих для модели радиосистемы, приближенной к реальной

Полученный результат позволяет определить фундаментальное ограничение алгоритма на разреженность входного сигнала, устанавливая его на уровне 1,85%. Полученные данные устанавливают конкретные минимальные требования к проектированию аналогового тракта, определяя границы применимости и направления для оптимизации алгоритма в современных радиолокационных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Application Of An Analog-to-Information Converter In Multichannel Radio Systems / Y. M. Meleshin, V. N. Karpov, K. S. Lyalin et al. // 2023 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT). – 2023. – P. 143-146.

2. Карпов, В. Н. Методика оценки степени разреженности сигналов для применения теории сжатой дискретизации в отношении частотно разреженных сигналов / В. Н. Карпов // Радиолокация, навигация, связь : Сборник трудов XXXI Международной научно-технической конференции. В 6-ти томах, Воронеж, 15–17 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2025. – С. 191-195.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF REAL RADIO SYSTEM PARAMETERS ON THE OPERATION OF ANALOG-TO-INFORMATION CONVERTER

Karpov V.N.
(National Research University of Electronic Technology)

This article presents an assessment of the influence of parameters of real radio systems on the operation of an analog-to-information converter.

УДК 621.391

ИНТЕГРАЦИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ИМР И ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ БПЛА

Зорин З.А.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко применяются для решения разнообразных задач, однако их каналы связи подвержены воздействию помех и могут быть преднамеренно заглушены. Кроме того, движение БПЛА вызывает постоянные изменения параметров канала, что снижает надежность передачи данных. Каналы связи беспилотных устройств ограничены энергетическими ресурсами: из-за небольших аккумуляторов мощность радиопередатчика невелика, что влияет на дальность связи. Одновременно для управления необходимы минимальные задержки, поэтому актуальна задача повышения качества и устойчивости каналов связи БПЛА.

В условиях эксплуатации БПЛА использование мягких решений при демодуляции и декодировании повышает эффективность передачи данных. Мягкое решение предполагает, что приёмник учитывает степень достоверности каждого принятого бита через логарифмическое отношение правдоподобия (LLR). По сравнению с «жёстким» решением, мягкое решение даёт максимум информации о принятом сигнале. Согласно классическим оценкам, применение мягкого декодирования обеспечивает энергетический выигрыш порядка 2 дБ по сравнению с жёстким решением [1].

В контексте БПЛА, где ширина принятого радиосигнала может снижаться из-за многолучевой интерференции — прихода к приёмнику нескольких копий одного и того же сигнала разными путями, — использование индексов мягких решений (ИМР) позволяет декодеру точнее различать шум и полезный сигнал. Это особенно важно при работе вблизи порога чувствительности приёмника.

Следует отметить, что при низком отношении сигнал/шум (SNR) учёт мягких решений оказывает наибольшее положительное влияние. Игнорирование информации о степени достоверности битов при малом SNR ухудшает качество декодирования, что особенно критично для каналов с замираниями, типичных для дальнодействующих БПЛА. Таким образом, использование ИМР при декодировании является обязательным условием для достижения требуемой помехоустойчивости.

Также необходимо учитывать, что вычислительные и энергетические ресурсы бортовой аппаратуры БПЛА ограничены. Декодер, работающий с LLR, способен обрабатывать данные быстрее и с меньшими энергозатратами, чем аналогичный декодер, основанный на жёстких решениях. Это делает подход с ИМР особенно привлекательным для маломощных систем связи.

Особый интерес представляет интеграция мягкого декодирования с лексикографическими методами. Лексикографический подход к декодированию полярных кодов, основанный на упорядоченном переборе комбинаций бит,

обеспечивает высокую точность, но требует оптимизации по скорости и энергопотреблению. Введение информации о вероятностях битов (ИМР) в процедуру лексикографического поиска позволяет объединить преимущества обоих подходов: сохранить структурную простоту лексикографического метода и повысить точность за счёт учёта степени достоверности каждого символа.

Совместное применение мягких решений и лексикографического декодирования обеспечивает синергетический эффект, превышающий эффективность каждого из подходов по отдельности, что делает данный метод перспективным направлением для систем связи БПЛА нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кларк, Г. К., Кейн, Дж. Б. (1981). Декодирование блочных кодов с использованием мягкого решения. В кн.: Кодирование с исправлением ошибок в цифровой связи. Приложения теории связи. Springer, Бостон, Массачусетс. стр. 141–180

2. Ганин Д. В., Наместников С. М., Чилихин Н. Ю. Модифицированные алгоритмы лексикографического декодирования полярных кодов в системе обработки изображений // Вестник НГИЭИ. 2017. № 11 (78). С. 7–22.

3. Гладких, А. А. Унификация процедуры обработки данных в информационно- управляющих комплексах на базе полярных кодов / А. А. Гладких, Р. В. Климов, Н. Ю. Чилихин // Радиолокация, навигация, связь : XXI Международная научно-техническая конференция, Воронеж, 14–16 апреля 2015 года. Том 3. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ» ООО, 2015. – С. 1021-1031. – EDN UKGQGL.

4. Гладких, А. А. Методы эффективного декодирования избыточных кодов и их современные приложения / А. А. Гладких, Р. В. Климов, Н. Ю. Чилихин. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2016. – 258 с. – ISBN 978-5-9795-1550-2. – EDN YHOPVD.

INTEGRATION OF SOFT DECISIONS AND LEXICOGRAPHIC DECODING IN UAV COMMUNICATION SYSTEMS

Zorin Z.A.

(Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University)

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are increasingly used for various applications; however, their communication channels are often affected by interference and intentional jamming. The integration of soft-decision decoding and lexicographic decoding methods offers a promising way to enhance the reliability of UAV communication systems operating under limited power and bandwidth conditions. Soft-decision decoding, based on the log-likelihood ratio (LLR), allows the receiver to account for the confidence level of each received bit, providing up to 2 dB of additional coding gain compared to hard-decision decoding. This synergy increases noise immunity, reduces computational load, and ensures stable data transmission in channels with fading and low signal-to-noise ratios typical for UAVs.

УДК 621.391:519.6

СГЛАЖИВАНИЕ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ В MIMO FMCW РАДИОЛОКАТОРЕ

Мелёшин Ю.М.

(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Одним из направлений исследований в области радиолокаторов с множественным входом и множественным выходом (multiple-input-multiple-output, далее – MIMO РЛС) является сокращение вычислительной сложности алгоритмов цифровой обработки сигналов. Существует подход с введением режима совмещения линейной непрерывной частотной модуляции (FMCW) и быстрой фазокодовой модуляцией [1].

В таких системах существует ряд фундаментальных проблем, связанных с резким перескоком фазы в соответствии с модулирующей последовательностью, из-за чего возникают дополнительные искажения и ограничения системы. Известны подходы, основанные на использование цифро-аналоговых преобразователей [2] для более плавной реализации изменения фазы, однако, такой подход ведет к усложнению аппаратной реализации системы ввиду большого количества независимых передающих каналов в MIMO РЛС.

В рамках данной работы будут показаны результаты моделирования способа с сглаживанием фазовой модуляции, но не за счёт введения ЦАП, а за счет передискретизации модулирующей последовательности (за счет того, что частоты работы ПЛИС, как правило, значительно превосходит символьную частоту модуляции) и введении простого интегратора в структуру (Рис. 1).

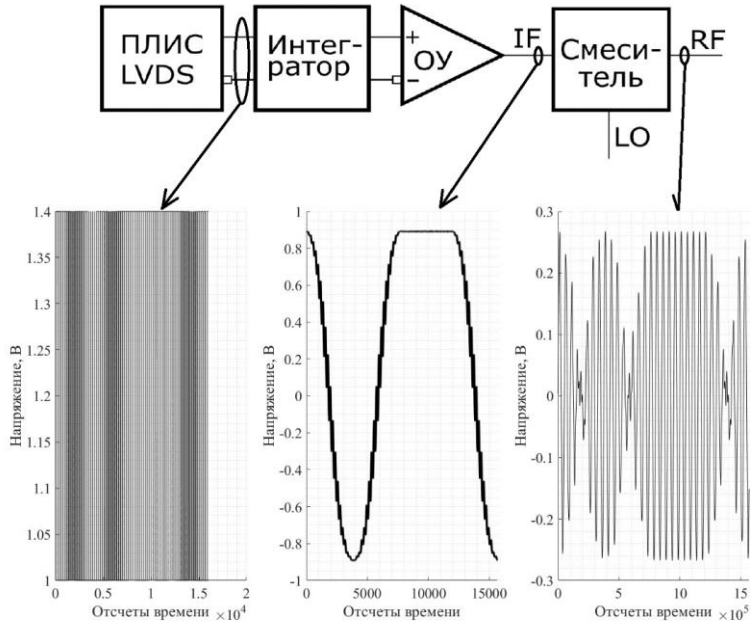


Рис. 1. Реализация сглаженной модуляции

Результаты моделирования для значений коэффициента передискретизации $L=16$ (Рис. 2) показаны для отклика в частотной области,

боковые лепестки которого, в том числе, показывают искажения, связанные с изменением фазы.

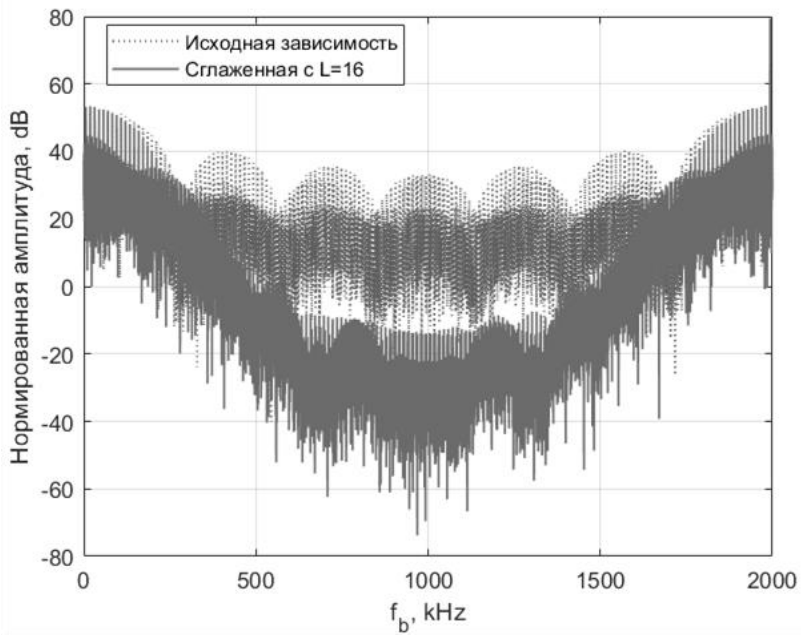


Рис. 2. Отклик в частотной области для исходной и сглаженной формы сигнала

Полученный результат показывает, что введение сглаживания снизило боковые лепестки сигнала в частотной области на 10-30 дБ (в зависимости от частоты), что позволяет говорить о работоспособности предлагаемого подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелёшин Ю.М., Хасанов М.С., Карпов В.Н. MIMO РЛС на базе линейно-частотно модулированных сигналов с быстрой сглаженной фазокодовой манипуляцией // Цифровая обработка сигналов. 2024. №4. С. 63-68.

2. U. Kumbul, N. Petrov, C. S. Vaucher and A. Yarovoy, "Smoothed phase-coded FMCW: waveform properties and transceiver architecture," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 59, no. 2, pp. 1720-1737, April 2023.

PHASE MODULATION SMOOTHING IN MIMO FMCW RADAR

Meleshin Y.M.

(National Research University of Electronic Technology - MIET)

The article presents a method for smooth phase modulation in a MIMO FMCW radar with fast phase code modulation.

УДК 621.396.6

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ С QUASI-QAM

Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Экспансия цифровых беспроводных систем связи, обусловленная достижениями в скорости передачи данных и минимизации задержек, формирует запрос на услуги реального времени следующего поколения. Пользователи ожидают не только безупречного качества видеоконференций и роста производительности устройств, но и внедрения инновационных сервисов, таких как дополненная реальность для урбанистических исследований или масштабируемые «туманные» вычисления на периферии сети. Ключевым условием для выполнения этих задач является обеспечение сверхнадежного обмена данными между сетевыми узлами и конечными устройствами, что требует преодоления проблем электромагнитной совместимости и устойчивости к сложной интерференционной обстановке. В современных системах стандартным ответом на снижение уровня сигнала относительно шума является адаптивное переключение схем модуляции — например, с высокоэффективной по спектру QAM-16 на более помехоустойчивую QPSK. Недостаток данного подхода заключается в неизбежном снижении пропускной способности канала. В контексте чувствительных к задержкам приложений такой компромисс может оказаться критическим, приводя к неприемлемому снижению качества обслуживания или срыву сеанса связи.

Схема для оценки коэффициента ошибок в модели канале связи, показана на рис. 1, либо возможно использование программного кода.

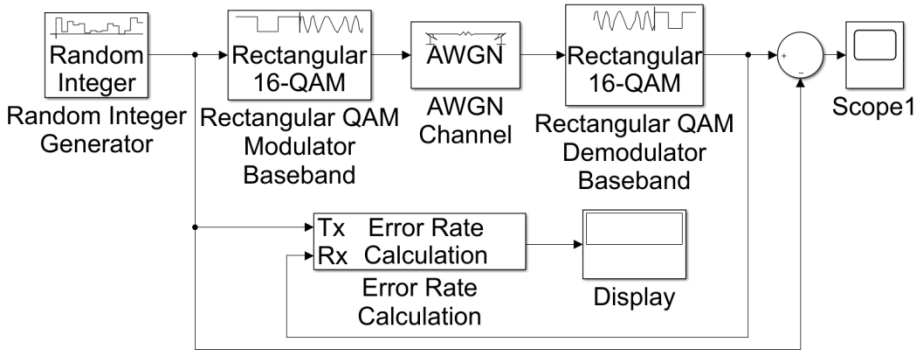


Рис. 1. Блок-схема канала с QAM-16 и белым шумом

Для повышения помехоустойчивости передачи данных предлагается подход, основанный на использовании расширенного пространства сигнального созвездия более высокого порядка (например, QAM-64) для реализации модуляции более низкого порядка (QAM-16). Ключевая идея метода заключается в вынесении (маппировании) тех точек созвездия QAM-16, которые в стандартной схеме наиболее подвержены искажениям из-за шума, в область расширенного созвездия QAM-64. Это позволяет искусственно увеличить эвклидово расстояние между критическими сигнальными точками, повышая их

различимость на фоне помех. В качестве наглядной иллюстрации принципа на рис. 2 представлен случай выноса одной такой точки.

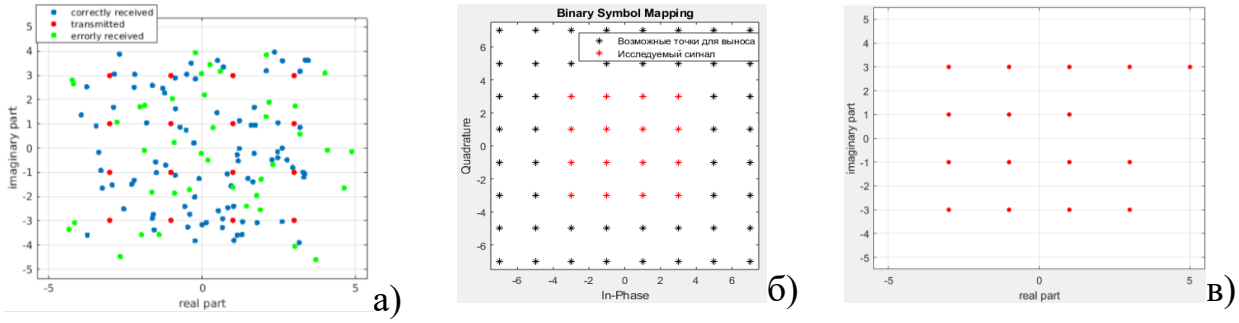


Рис. 2. Сигнальные созвездия QAM-16: а) – идеальное созвездие и результат воздействия АБГШ, б) – формирование пространства quasi-QAM, в) – вынос точки сигнального созвездия

На рис. 3 представлен результат работы предлагаемого алгоритма.

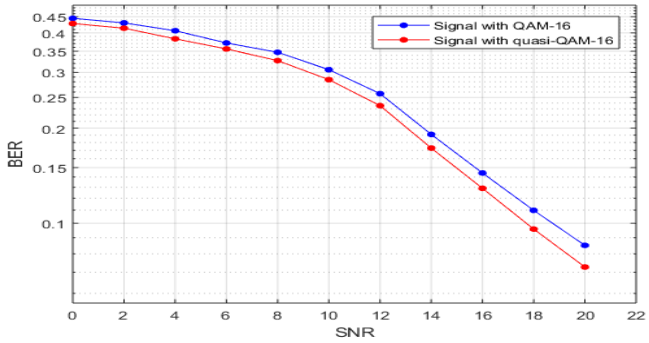


Рис. 3. Сравнение BER для QAM-16 и quasi-QAM для различных SNR

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильфанова, А. Ф. Один из вариантов повышения помехозащищенности цифровых каналов связи с quasi-QAM / А. Ф. Гильфанова, Д. А. Веденькин // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2022. – Т. 2, № 4. – С. 41-48. – EDN MSPNEN.

2. Гильфанова, А. Ф. Один из методов повышения помехоустойчивости системы связи / А. Ф. Гильфанова // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023 : Материалы X Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 13–15 апреля 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 100-101. – EDN DRRFTG.

INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS WITH QUASI-QAM

Gilfanova A.F., Vedenkin D.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

A method for increasing the noise immunity of a digital communication channel with QAM by changing the type of signal constellation is considered.

УДК 004.6

ПОСТРОЕНИЕ И НАСТРОЙКА МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Чернова С.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Машинное обучение стало неотъемлемой частью современного анализа данных и принятия решений на основе данных. Ключевой этап в процессе разработки таких моделей — это их построение и последующая настройка на основе выявленных закономерностей во время разведочного анализа данных (EDA). В этой статье мы рассмотрим основные шаги, необходимые для успешного создания и оптимизации моделей машинного обучения.

1. Определение задачи. Перед тем как приступить к построению моделей, необходимо четко определить, какую задачу вы хотите решить. Основные виды задач машинного обучения включают:

- Классификация: например, определение, какое свидетельство принадлежит к определенной категории (да/нет).
- Регрессия: Предсказание непрерывной переменной, такой как стоимость квартиры.
- Кластеризация: Группировка объектов без предварительных меток.

2. Подготовка данных. На этом этапе производится подготовка вашего набора данных к обучению модели:

- Очистка данных: Устранение или замена пропущенных значений и выбросов.
- Преобразование признаков: Включает нормализацию, стандартизацию, кодирование категориальных переменных (например, с помощью one-hot encoding).
- Разделение данных: Делим данные на тренировочный и тестовый наборы. Обычно используется соотношение 80/20 или 70/30.

3. Выбор модели. Существует множество алгоритмов машинного обучения, каждый из которых имеет свои особенности. Рассмотрим некоторые из них: Линейная регрессия: Простой и эффективный метод для задач регрессии. Логистическая регрессия: Применяется для бинарной классификации. Деревья решений и их ансамбли (Random Forest, Gradient Boosting): Мощные инструменты как для регрессии, так и для классификации. Нейронные сети: Используются при сложных задачах, таких как обработка изображений и текста.

4. Обучение модели. На данном этапе выбранная модель обучается на подготовленных тренировочных данных. Важно следить за метриками качества, такими как: Точность (Accuracy) для классификации. Средняя абсолютная ошибка (MAE) для регрессии.

В процессе обучения могут быть применены методы кросс-валидации, позволяющие оценить производительность модели на разных подмножестве данных.

5. Настройка гиперпараметров. После первичного обучения модели важно найти оптимальные значения гиперпараметров, которые могут значительно повлиять на результаты. Для этого могут использоваться методы: Сетка поиска (Grid Search): Перебор всех возможных комбинаций параметров. Случайный поиск (Random Search): Случайный перебор набора гиперпараметров, что ускоряет процесс по сравнению со стеком. Байесовская оптимизация: Более продвинутая методология, позволяющая оптимизировать гиперпараметры более эффективно.

6. Оценка модели. После настройки гиперпараметров необходимо оценить модель на тестовых данных. Используйте метрики производительности, такие как: ROC-AUC: для классификации показывает, как хорошо модель различает классы; R^2 (коэффициент детерминации): Для регрессии, показывающий, насколько хорошо модель объясняет изменчивость целевой переменной.

7. Визуализация результатов. Визуализация результатов позволяет лучше понять эффективность модели и выявить возможные проблемы. Это можно сделать с помощью: Графиков ошибок: для оценки ошибок модели. Матрицы путаницы: для анализа классификаций.

8. Внедрение модели

После успешной оценки и проверки модели ее можно внедрять в производственные системы. Важно следить за производительностью модели в реальных условиях, так как со временем ее точность может снижаться из-за изменений в данных (проблема концептуальной дрейфа).

Построение и настройка моделей машинного обучения на основе выявленных закономерностей — это сложный, но крайне важный процесс. Необходимо учитывать все этапы, начиная с определения задачи и заканчивая внедрением модели, чтобы добиться максимальной эффективности и точности. С каждым запуском анализа и обучения машинное обучение открывает новые горизонты, позволяя принимать более взвешенные и обоснованные решения на основе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронина В.В. Теория и практика машинного обучения : учебное пособие /В. В. Воронина, А. В. Михеев, Н. Г. Ярушкина, К. В. Святов. –Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 290 с.

CONSTRUCTING AND TUNE-UP MACHINE LEARNING MODELS BASED ON IDENTIFIED REGULARITIES

. Chernova S.V

(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Machine learning has become an integral part of modern data analysis and data-driven decision making. A key step in developing such models is their construction and subsequent tuning based on patterns identified during exploratory data analysis (EDA).

УДК 004.6

РАЗВЕДОЧНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ (EDA)

Чернова С.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Разведочный анализ данных (Exploratory Data Analysis, EDA) является важным этапом в процессе обработки и анализа данных. Он позволяет исследовать набор данных, выявлять паттерны и аномалии, а также формулировать гипотезы, которые могут быть использованы для дальнейшего анализа или моделирования.

EDA представляет собой набор методов и подходов, направленных на понимание структуры данных. Он включает в себя:

- визуализацию данных;
- статистический анализ;
- оценку качества данных;
- исследование взаимосвязей между переменными.

Эти методики позволяют анализировать данные с разных уголков и выявлять глубокие инсайты, которые могут быть упущены при поверхностном осмотре.

Разведочный анализ данных помогает:

1. Выявить аномалии и выбросы: Это важный этап, так как выбросы могут значительно повлиять на результаты модели.
2. Понять распределение данных: Анализ распределения переменных помогает уточнить гипотезы и подготовить данные к статистическому анализу.
3. Определить корреляции между переменными: Изучение взаимосвязей поможет выбрать правильные фичи для моделей машинного обучения.
4. Устранить проблемы с качеством данных: Если данные содержат пропуски или ошибки, их нужно исправить на этом этапе.

Основные шаги EDA

5. Загрузка данных: Импорт данных из различных источников (CSV, базы данных и т.д.).
6. Предварительный просмотр данных: Отображение первых нескольких строк данных для их быстрой оценки.
7. Описание статистик: Использование методов описательной статистики (среднее, медиана, стандартное отклонение) для понимания основных характеристик наборов данных.
8. Визуализация данных:
   - Гистограммы: Для анализа распределения отдельных переменных.
   - Корреляционные матрицы: Для оценки взаимосвязей между переменными.

- Диаграммы рассеяния: Для визуализации отношения между двумя количественными переменными.

9. Работа с отсутствующими значениями: Оценка пропусков и выбор методов их обработки (удаление, замена и т.д.).
10. Итоговый анализ: Сбор всех выводов и формулирование гипотез для дальнейшего анализа.

Существует множество инструментов и библиотек, которые могут помочь в проведении EDA. Вот некоторые из них:

- Pandas: Библиотека Python для работы с данными, которая предоставляет мощные инструменты для анализа и модификации наборов данных.
- Matplotlib и Seaborn: Библиотеки для визуализации данных, которые помогают создавать красивые графики и диаграммы.
- R: Язык программирования, широко используемый для статистического анализа и визуализации данных.

Разведочный анализ данных (EDA) — это неотъемлемая часть процесса анализа данных, которая позволяет глубже понять структуру и особенности данных. Эффективное применение методов EDA помогает не только выявить ключевые зависимости и аномалии, но и подготовиться к более сложным этапам анализа, таким как моделирование и прогнозирование. Будучи критически важным для успеха ваших проектов по анализу данных, EDA обеспечивает фундамент, на котором можно строить надежные аналитические выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Большаков, Р.Н.Каримов. Методы обработки многомерных данных и временных рядов. – М.: Горячая Линия - Телеком, 2007. – 520 с.

EXPLORATORY DATA ANALYSIS (EDA)

Chernova S.V.
(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Exploratory data analysis (EDA) is a crucial step in the data processing and analysis process. It allows one to explore a data set, identify patterns and anomalies, and formulate hypotheses that can be used for further analysis or modeling.

УДК 621.391

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАК ИНТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫРАБОТКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ КОДОВ

Ганин Д.В.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Асимптотические оценки энергетического выигрыша кода (ЭВК) в системах с помехоустойчивым кодированием однозначно указывают на преимущества методов перестановочного декодирования таких кодов относительно классического метода решения системы линейных уравнений, как правило, использующего метрику Хэмминга. При этом ЭВК может составлять в зависимости от параметров кода от 3 дБ и более. Другим достоинством такого метода обработки, принятых с ошибками данных является возможность использовать технологию когнитивного хранения образцов перестановок нумераторов символов кодового вектора в системе двух когнитивных карт (КК). В одной из них хранятся перестановки, которые позволяют получить эквивалентных код и тогда они будут находится в «КК+». В противном случае перестановки принято хранить в «КК–».

Многочисленные исследования в области построения перестановочных декодеров показали, что такое раздельное хранение непересекающихся подмножеств положительных и отрицательных перестановок представляется рациональным при относительно малом объеме «КК–». Статистические испытания относительно коротких кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ) показали, что с незначительным увеличением длины кодовых комбинаций перестановки вида «КК–» начинают превосходить объем выборки перестановок вида «КК+». Наиболее выражено подобное явление для кодов с малой плотность проверок на четность. Это объясняется большим количеством нулевых символов в порождающей матрицы такого кода, что неизбежно приводит к вырожденности многих переставленных матриц. Для кодов БЧХ схема разделения перестановок показала свою относительно стабильную работоспособность, но коррекция перестановок вида «КК–» однозначно затягивает процедуру обработки кодового вектора в декодере.

Применение метода морфологического синтеза (ММС), основанного на случайном поиске рационального решения с целью снижения сложности реализации декодера в описанном алгоритме не подходит. Поэтому применения метода ММС основывается на подборе известных технических решений, так называемый метод эволюции устройства декодера или метод усовершенствования его технического решения в виде изменения формулы описания его структурной схемы. В данном случае возможно использование метода распространения доверия (МРД) на этапе коррекции перестановки, когда для отдельные символов, находящихся на позициях информационных разрядов повышают значение мягких решений.

Анализ такого технического решения показывает, что кроме значений мягких решений символов в методе дополнительно используются проверки

четности, заданные уравнениями проверочной матрицы кода. Но ММС показывает, что для этого необходимо знать проверочную матриц эквивалентного кода. Исследования показали, что применение МРД при высоком уровне помех часто наталкивается на неудачное сочетание оценок, которое может увеличивать время обработки данных и даже приводить к бесконечному времени реализации алгоритма, что недопустимо.

Таким образом, ММС показывает, что в условиях высоких уровней помех необходимо использовать метод повтора данных примерно так, как это делается в системах с турбокодированием (СТК). В этом случае возможно использование мажоритарного подхода к оценке значений символов информационных и проверочных разрядов и их мягких решений. При этом все действия осуществляются не с комбинациями эквивалентных кодов, а с комбинациями исходного кода, что исключает временные затраты коррекции данных столь необходимые в случае применения КК. Следует учитывать, что в СТК используются очень длинные последовательности, что обеспечивает приемлемую декорреляцию ошибок. В современных сетевых технологиях критичным становится время обработки принятых данных, поэтому повтор данных коротких кодов является рациональным решением в условиях высокого уровня помех.

MORPHOLOGICAL SYNTHESIS AS AN INSTRUMENT FOR OPTIMIZING THE PRODUCTION OF EQUIVALENT SYSTEMATIC CODES

Ganin D.V.
(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

Abstract

It is shown that in conditions of high levels of interference, it is necessary to use the data repetition method approximately as it is done in systems with turbo coding. In this case, it is possible to use a majority approach to evaluating the values of information and verification symbols and their soft solutions. At the same time, all actions are performed not with combinations of equivalent codes, but with combinations of the source code, which eliminates the time required for data correction in the case of using cognitive maps. It should be borne in mind that turbo coding systems use very long sequences, which ensures acceptable error decorrelation. In modern network technologies, the processing time of received data becomes critical, so repeating these short codes is a rational solution in conditions of high interference levels. At the same time, the cost of repeating packets in which errors are detected is minimized.

УДК 004.415.25

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ, ПЕРПЕСКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ В ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО UDP

Щепотьев И. А., Султанов А.Х., Тимофеев А.Л., Хакимов О.М.
(Уфимский университет науки и технологий)

В современном мире постоянно увеличивается объем передаваемых данных, что требует все более эффективных и надежных методов их передачи. Среди актуальных технологий особое место занимает цифровая голография, способная значительно повысить качество и устойчивость передачи информации. В данной статье рассматривается концепция использования голографического кодирования для передачи данных по протоколу UDP (User Datagram Protocol).

Традиционные методы цифровой передачи данных основаны на скоростных и надежных протоколах, таких как TCP, однако они могут быть избыточными или недостаточно эффективными для критически важных или высокоскоростных приложений. UDP, как протокол с меньшими накладными затратами, позволяет отправлять данные с меньшей задержкой, что важно для реального времени [1].

Голографическое кодирование использует свойства интерференции и дифракции света для кодирования и восстановления данных. Инновационные подходы используют особенности волновых фронтов, что позволяет обеспечить плотное упаковывание данных и устойчивость к ошибкам.

Этапы внедрения голографического кодирования в передачу по UDP:

1. Кодирование данных в голограмму:

Исходный цифровой поток преобразуется в оптический сигнал с помощью методов цифровой голографии. Обычно используется дискретное преобразование Фурье (FFT) для создания голографического фронта, являющегося «записью» информации [2].

2. Разбиение голограммы на пакеты:

Полученная голограмма делится на сегменты или блоки, которые будут передаваться по сети UDP. Информация о сегментах хранится в заголовках пакетов для возможности последующей сборки [2].

3. Передача по UDP:

Пакеты передаются через сеть, что позволяет минимизировать задержки, несмотря на возможность потерь. Важным аспектом является обработка ошибок и коррекция ошибок на уровне приложения [2].

4. Декодирование и восстановление:

На приеме пакеты собираются, а затем осуществляется восстановление исходной голографической информации с помощью обратного преобразования [2].

Преимущества такого подхода:

1. Высокая плотность информации: Голография позволяет упаковать огромное количество данных в небольшое пространство.
2. Устойчивость к ошибкам: Использование свойств интерференции позволяет восстанавливать информацию даже при повреждениях.
3. Низкая задержка: Протокол UDP предоставляет быструю доставку, а голографическое кодирование повышает надежность.

Несмотря на преимущества, существуют технические сложности, связанные с синхронизацией и обработкой голографических данных в реальном времени. Также требуют развития методы коррекции ошибок и оптимизации алгоритмов.

Перспективы включают интеграцию голографического кодирования с квантовыми и фотонными технологиями, а также расширение области применения на сети 5G и инженерные системы.

В заключение хочется отметить, что использование голографического кодирования для передачи данных по UDP — многообещающее направление, сочетающее высокую плотность хранения информации, устойчивость к ошибкам и низкую задержку. Дальнейшие исследования и разработки могут привести к созданию новых систем коммуникаций с высокой пропускной способностью и надежностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee, Y., et al. (2017). "Optical multiplexing and holographic encoding techniques for high-capacity communication." Optics Express, 25(20), 24149-24160.
2. Goodman, J. W. (2005). Introduction to Fourier Optics. Roberts & Company Publishers.
3. O'Sullivan, C., et al. (2015). "Review of digital holography techniques." Optics Express, 23(24), 31014-31031.
4. Kress, T., & Kreis, T. (2011). "Holographic data storage: Fundamentals, techniques, and applications." Journal of Optical Communications and Networking, 3(9), 667–685.

FEATURES OF IMPLEMENTATION, PROSPECTS AND PROBLEMS OF USING HOLOGRAPHIC CODING IN PACKET DATA TRANSMISSION OVER UDP

Schepotiev I.A., Sultanov A.Kh., Timofeev A.L., Khakimov O.M.
(Ufa University of Science and Technology)

Abstract. The article discusses the development, prospects, and challenges of using holographic encoding in UDP packet data transmission. The article details the stages of holographic encoding's development, highlighting the advantages and growing use of this level.

УДК 537.862

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ

Майоров А.Г.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Эллиптические рамочные антенны находят самое широкое применение в современной технике. Исследование рамочных антенн, в своем большинстве, основано на использовании различных допущений, в том числе исходя из равномерности распределения тока вдоль всей образующей антенны. Такой подход позволяет получать приемлемые результаты только для антенн относительно малых геометрических или волновых размеров. Таким образом, часто теряется физическая суть связи электромагнитного поля антенны и распределения тока. В этой связи, наиболее целесообразно использовать современные подходы для описания излучения подобных структур, в частности интегральные представления электромагнитного поля (ИП ЭМП) [1], которые в своей основе содержат законы электромагнетизма, синтезированные с использованием граничных условий для рассматриваемой геометрической конфигурации излучателя.

Простейшая модель планарной эллиптической рамочной антенны, построенная с применением тонкопроволочного приближения, представляет собой проводник L, лежащий в плоскости xOy (рисунок 1). Полуоси эллипса на рисунке 1 обозначены как r_x и r_y.

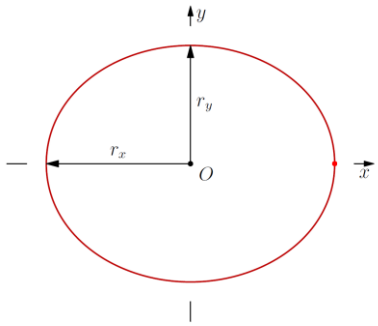


Рис.1. Тонкопроволочная модель эллиптической рамочной антенны.

После дискретизации проводника L и получив ломанную $L^{(D)}$, содержащую N_n узлов r_k, поле структуры определяется из ИП ЭМП:

$$\mathbf{F}(\mathrm{r}) = \sum_{k=1}^{N_n} I_k \mathbf{K}_a^{\Delta,F}(\mathbf{r},\mathbf{r}_k), \quad \mathbf{K}_a^{\Delta,F}(\mathrm{r},\mathrm{r}_k) = \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} \mathbf{K}_a^{F}(\mathbf{r},\mathbf{r}_k(l))dl, \quad F \equiv E,H; \tag{1}$$

где K_a – весовые коэффициенты.

СЛАУ для вычисления значений токов в каждом r_i узле:

$$-\mathbf{l}_0(\mathbf{r}_i^*)\cdot\mathbf{E}^{(in)}(\mathbf{r}_i^*)=\mathbf{l}_0(\mathbf{r}_i^*)\cdot\sum_{j=1}^{N_n}I_j\left(\mathbf{l}_0(\mathbf{r}_j^*)\cdot\mathbf{K}_a^{\Delta,F}(\mathbf{r}_i^*,\mathbf{r}_j)\right),\quad i=1\ldots N_n \tag{1}$$

Рассмотренный метод позволяет с высокой точностью вычислить распределение тока вдоль образующей, а так же проследить его изменение в зависимости от коэффициента эллиптичности рамки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов, В.А. Применение метода сингулярного интегрального уравнения к анализу рамочной антенны [Текст] /В.А. Неганов, М.Г. Корнев //Физика волновых процессов и радиотехнических системы.—2003.—Т.6.—№1. —С.41-45.

INTEGRAL REPRESENTATION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD FOR AN ELLIPTICAL FRAME ANTENNA

Mayorov A.G.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The simplest thin-wire mathematical model of an elliptical loop antenna is presented. The results of calculating complex current distributions along the length of the frame are presented. The work shows the expediency of using integral representations of the electromagnetic field, which basically contain the laws of electromagnetism, synthesized using boundary conditions for the necessary design.

УДК 621.37

БЕЗЭХОВАЯ КАМЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ

Тлявлин А.З., Забродин Н.А., Гильманова Э.Ф., Филатов П.Е.
(Уфимский университет науки и технологий)

В последнее время большое внимание уделяется вопросам электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств. Одним из средств обеспечения электромагнитной совместимости является экранирование. Целью работы является разработка и изготовление с использованием доступных материалов безэховой камеры, внутри который можно проводить исследования эффективности электромагнитных экранов, выполненных из различных материалов.

Корпус безэховой камеры изготовлен из многослойной фанеры толщиной 8 мм, внешние размеры камеры составили 576x296x296 мм. С внутренней стороны все поверхности камеры, а также торцы обклеены с помощью двухстороннего скотча алюминиевой фольгой толщиной 30 мкм. Поверх фольги для поглощения внутренних отражений были приклеены яичные лотки, покрытые токопроводящим лаком на основе коллоидного графита. Их ячеистая структура обеспечивает многократное отражение и рассеяние электромагнитных волн, что повышает эффективность камеры. В центре камеры установлены направляющие, в которые можно вставлять электромагнитные экраны с разными параметрами [1]. На рисунке 1 представлена изготовленная безэховая камера со снятой верхней крышкой.

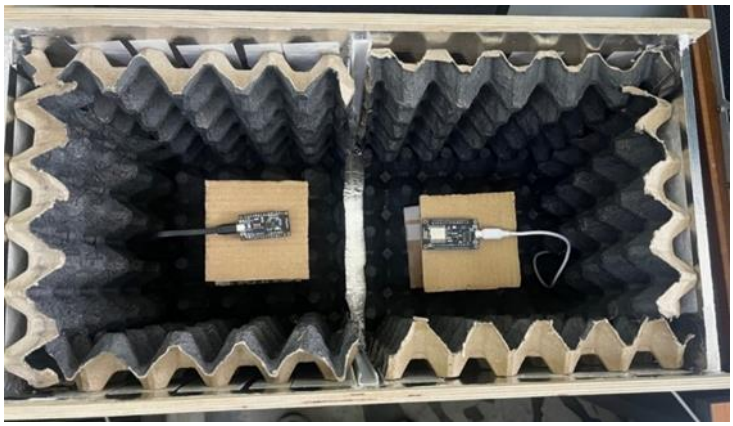


Рис. 1. Безэховая камера со снятой крышкой

Внутри камеры на подвижных диэлектрических подставках расположены генератор сигнала на базе ESP8266 и плата NodeMCU с анализатором спектра. Они были запрограммированы таким образом, что могут передавать и принимать Wi-Fi сигнал с частотой 2,4 ГГц. Также была написана программа для оценки уровня принимаемого сигнала, в том числе после прохождения через экран.

При исследовании экранирующих свойств безэховой камеры источник сигнала располагался внутри, а приемник – вне. Измерения уровня сигнала

выполнялись при последовательном повороте приёмника на угол φ (с шагом 45°) вокруг камеры. Испытания показали, что камера обеспечивает ослабление сигнала, от 25 до 33 дБ. Наименьшее экранирование зафиксировано в углах камеры, что может быть связано с зазорами в стыках корпуса [2].

Результаты исследований показали, что изготовленная безэховая камера может быть использована в учебном процессе при проведении лабораторных работ по изучению вопросов электромагнитной совместимости различных радиоэлектронных устройств, а более конкретно при исследовании эффективности различных экранов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. В. Кох, С. С. Шевченко. Лабораторный стенд по исследованию электромагнитного экранирования // Вестник КГЭУ № 4 (36)., 2017. – С.134–140.
2. Гутник С.А., Гутник В.С. Исследование эффективности экранирования электромагнитных излучений и шума. Севастополь: СевГУ, 2018. – 19 с.

ANECHOIC CHAMBER FOR STUDYING THE EFFICIENCY OF ELECTROMAGNETIC SCREENS

Tlyavlin A.Z, Zabrodin N.A., Gilmanova E.F., Filatov P.E.
(Ufa University of Science and Technology)

This paper presents the development of a laboratory stand designed to study the shielding effectiveness of electromagnetic screens. The system operates in the 2,4 GHz frequency range and includes a signal source, a receiver, and shield placed inside an anechoic chamber made from low-cost materials. Experimental results demonstrate the ability of the setup to visualize and quantify electromagnetic attenuation, making it a practical tool for educational and research purposes in the field of electromagnetic compatibility.

УДК 621.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Тлявлин А.З., Забродин Н.А., Гильманова Э.Ф., Филатов П.Е.
(Уфимский университет науки и технологий)

Возрастающая плотность электронных устройств и использование беспроводных технологий приводят к росту уровня электромагнитных помех. Для минимизации их влияния применяются различные методы защиты, в том числе электромагнитные экраны. Целью работы является создание стенда по экспериментальному исследованию экранирующих свойств различных электромагнитных экранов.

Основу разработанного стенда (рис. 1) составляет изготовленная авторами безэховая камера 4, внутри которой размещены передатчик 1 и приемник 3 сигнала, а также исследуемые экраны 3. Электропитание 5 источника может осуществляться или от блока питания 5 В, или от персонального компьютера (ноутбука) с помощью кабеля Micro USB. Приёмник 3 подключается к ноутбуку 6 (или ПК) с помощью кабеля USB Type-C. Исследуемые образцы экранов 2 изготавливались в виде пластин, которые устанавливались в специальные направляющие, закрепленные на внутренней поверхности безэховой камеры.

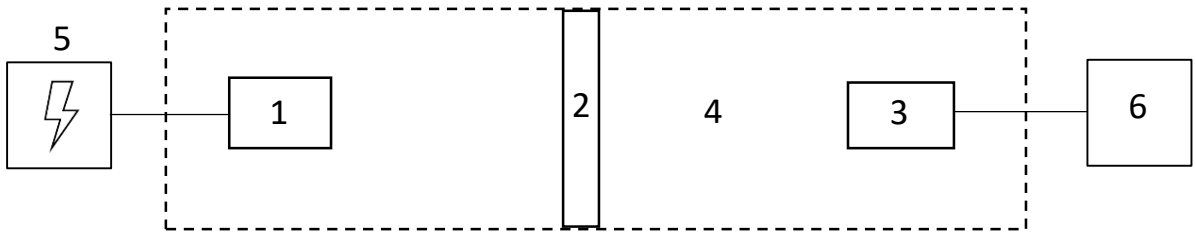


Рис. 1. Структурная схема разработанного стенда

В качестве источника сигнала был взят приёмопередатчик Plusivo ESP8266, в качестве приёмника – приёмопередатчик NodeMCU v3 (ESP8266), использующие Wi-Fi сигнал с частотой 2,4 ГГц.

Приемник был запрограммирован таким образом, что выводил данные об уровне принятого сигнала на экран ПК каждые 3 секунды.

С помощью разработанного стенда были исследованы несколько конструкций экранов: алюминиевая фольга толщиной 9 мкм и 30 мкм, накленная на одну и две стороны пластины из ДВП; алюминиевого листа толщиной 2 мм.

Образец односторонней фольги толщиной 9 мкм показал эффективность экранирования -46 дБм, толщиной 30 мкм: -45 дБм, двухслойная конструкция толщиной 30 мкм: -52 дБм, алюминиевый лист: -47 дБм [1].

Эксперименты с образцами фольги 9 мкм двухслойной конструкции показали не совсем достоверные результаты: у двухслойной эффективность экранирования ухудшилась в сравнении с однослойной с -46 дБм до -43 дБм. Объяснить это можно тем, что в данном случае на пути сигнала образовались воздушные резонансные полости. На частоте 2,4 ГГц зазоры больше 0,1 мм

работают как щелевые антенны, усиливая прохождение сигнала. К тому же могли повлиять неровности и микротрещины в фольге. Пример вывода результата одного из экспериментов представлен на рисунке 2, где горизонтальная ось – ось времени в секундах, вертикальная – уровень сигнала в дБм.

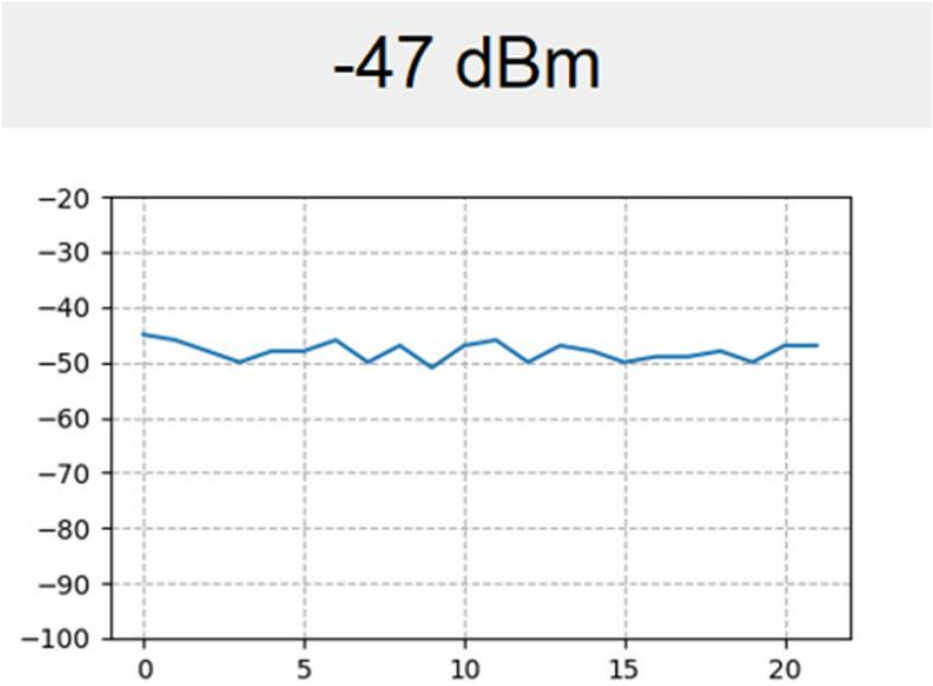


Рис. 2. Результат измерений на экране ПК

Проведенные работы показали, что разработанный стенд может быть использован как в учебном процессе, так и при исследовании других материалов [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробейников С.М., Сарин Л.И., Хохлов В.М. Экранирующий материал для защиты от ЭМП. Москва, ГУПВИМИ, 2005г.

2. Гордеев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М., «Связь» 1972 г.

STUDY OF SHIELDING PROPERTIES OF MATERIALS

Tlyavlin A.Z., Zabrodin N.A., Gilmanova E.F., Filatov P.E.
(Ufa University of Science and Technology)

This work presents an experimental study of the shielding properties of various materials at a frequency of 2,4 GHz. The influence of material type, thickness, and number of layers on the attenuation of the electromagnetic signal was analyzed using a specially developed laboratory setup. The results demonstrated that both physical structure and assembly quality significantly affect shielding effectiveness, with multilayer aluminum foil providing the highest attenuation level.

Секция 2. Инфокоммуникационные технологии и сети.

УДК 621.396

СЕТЬ LORA НА УЧАСТКАХ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ С ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТЬЮ

Мухин Н.А. Шахтанов С.В.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Аннотация: В работе рассматривается беспроводная технология дальнего радиуса действия LORA и возможность её применения для мониторинга персонала в зонах повышенной опасности при обслуживании оборудования в газовой отрасли при наличии высокого уровня индустриальных помех.

LORA обладает преимуществами для построения сети в зонах повышенной опасности благодаря способности передавать данные на большие расстояния при минимальном энергопотреблении ниже уровня шумов. Это позволяет проводить автоматический постоянный мониторинг при работе в экстремальных условиях с контролем местонахождения работника, его физического состояния в нештатных ситуациях с поддержанием оперативной двухсторонней связи (Рис. 1).

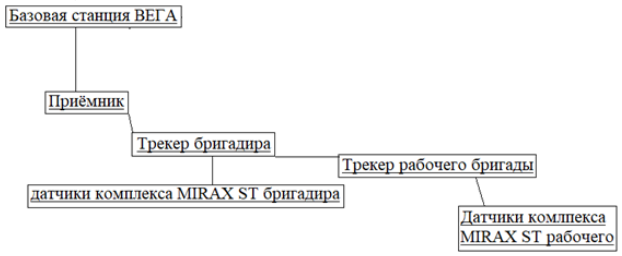


Рис. 1. Функциональная схема сети

Базовая станция LORA на производственном участке находится в режиме постоянного контакта с оснащением работника, находящимся на месте проведения работ повышенной опасности и проводит опрос датчиков, закреплённых на работнике. Комплекс промышленной безопасности (КПБ) работника представляет собой набор индивидуальных датчиков и газоанализатор с системой оповещения. Система КПБ через трекер бригадира, в режиме реального времени, собирает данные с трекеров членов бригады об окружающей среде, состоянии члена бригады, его местонахождении, оснащении средствами индивидуальной защиты (СИЗ) и передаёт эти данные на пульт диспетчера. КПБ рабочих бригады соединены с КПБ бригадира. В случае нарушения текущих условий производства работ и нарушения состояния работника бригады, бригадир и диспетчер получат уведомление.

В случае превышения параметров допустимой нормы определённого газа, КПБ включает звуковое оповещение, сообщение «Авария», которое передаётся всем работникам в зоне повышенной опасности и на пульт диспетчера.

Данная система позволяет автоматизировать мониторинг за проведением ремонтных работ на участках повышенной опасности и, как следствие, повышает безопасность работ.

За счёт своей помехоустойчивости, сети LORA могут находиться рядом с электроустановками с сильным электромагнитным излучением. Благодаря протоколу CSS, дальность передачи может осуществляться на расстояния до 15 километров.

В комплект БПК, помимо оборудования LORA, входят оконечные устройства, которые прикрепляются к одежде и телу работника:

- Браслет для оценки частоты сердечных сокращений человека и жизненной активности человека;

- Газоанализатор портативный для измерения концентраций горючих, токсичных газов и кислорода в воздухе рабочей зоны;

- Беспроводное переговорно-поисковое устройство для получения текстовых и голосовых сообщений, контроля местоположения абонента, контроля состояния абонента (положение, физическая активность, уровень физической активности, падение, удар, неподвижность, нажатие экстренной SOS-кнопки; - Радиометка для контроля наличия у работника СИЗ;

- Радиомаяк для мониторинга местоположения абонентов с целью подачи предупредительной сигнализации. Существующие системы мониторинга персонала в зонах повышенной опасности в настоящее время широкого распространения не имеют. Предлагаемый вариант построения сети мониторинга в зонах повышенной опасности предполагает использование помехоустойчивой технологии LORA, позволяющей работать в зоне высокого уровня электромагнитных помех на удалении до 15 км. Исследование вариантов применения технологии LORA является направлением дальнейшей работы кафедры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колисниченко Д. Беспроводная сеть дома и в офисе. М.: БХВ-Петербург, 2015. - 997 с.
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети.: Питер,2019. 186с.
3. Степанов Н.В. Систематизированный обзор особенностей реализации физического уровня протокола LoRa // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №11. С. 11-26.

LORA NETWORK IN HIGH-HAZARD WORK SITES

Mukhin N.A. Shakhtanov S.V.
(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

Abstract: The paper examines the long-range wireless technology LORA and the possibility of its application for monitoring personnel in high-risk areas when servicing equipment in the gas industry in the presence of a high level of industrial interference.

УДК 621.39

ИНЖЕНЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОЙ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КАБЕЛЬНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Комаров А.Н., Шахтанов С.В.
(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Аннотация. Рассматриваются особенности строительства и эксплуатации сетей кабельной канализации в условиях городской застройки.

В текущих условиях и объёмах развития городской и пригородной конгломераций, в обязательства крупных подрядных строительных организаций связи входит обязательное требование прокладки кабельных линий связи в грунте с использованием сети кабельной канализации без воздушной подвески (проект «Чистое небо»).

Текущая актуальная нормативно-техническая документация не учитывает развитие технических решений (новинок и инновационных продуктов) и реальные условия прокладки линий в условиях перегруженной геоподосновы в крупных городах РФ, с учётом климатических и сейсмических условий.

Основные проблемы при прокладке и проектировании кабельной канализации связи выявляются на стадии проектных работ и дальнейших корректировок в процессе производства работ в ходе строительства объекта связи.

Заявленные и фактические грунтовые нагрузки на трубы и каналы кабельной канализации зачастую не соответствуют нормативным нагрузкам и зонам применения (как по нормативным актам, так и по факту применения). Результатом этого является изменение геометрии труб или их схлопывание либо сдавливание с повреждением самого кабеля, что в свою очередь приводит к невозможности эксплуатации сети кабельной канализации и предоставлению услуг связи абонентам.

Использование кабеля с дополнительной броней приведет к удорожанию строительства и не решит проблему текущей эксплуатации сети кабельной канализации, когда кабель зажат внутри футляра, что не позволяет проводить закладку дополнительного кабеля. Фактически проведение текущего ремонта останется невозможным.

Решением является использование трубопроводов с требуемыми характеристиками кольцевой жесткости SN kH\m2 (ГОСТ 54475-2011) и сопротивлению на сжатие Н (ГОСТ Р МЭК 61386.1 – 2014), превышающими текущие требования нормативных актов. Для этого была разработана труба полимерная жесткая гофрированная спиральная, которая позволяет при той же стоимости, добиться повышенной прочности.

Один из этапов испытаний разработанной полимерной жёсткой гофрированной спиральной трубы показан на Рис. 1.

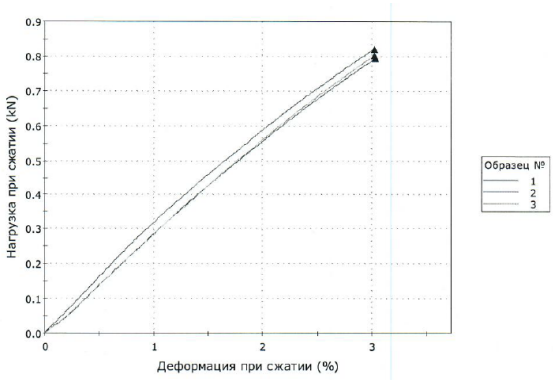


Рис. 1. Испытание муфты на сжатие

Данная конструкция дополнительно позволяет решить задачу герметизации стыков труба - труба и узлов ввода в кабельные колодцы в отличии типовых решений относительно широко распространённых асбоцементных труб. Каждый из вариантов соединения описан в различных нормативных актах СНП 42, ВСН 116, Руководстве по строительству линейно-кабельных сооружений связи [1, 2, 3 ,4], ГОСТ Р МЭК 61386 и т.д.

В отличие от предлагаемого варианта - обеспечить соединение герметичным и прочным на примере соединения труб типа ПНД – сварка в стык, сварка электросварным фитингом – дорогостоящая процедура с точки зрения материалов, и трудоёмкая с точки зрения времени, оборудования и квалификации персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи, часть 2. М., АООТ "ССКТБ-ТОМАСС", 1995 – 269 с.
2. Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений местных сетей связи. М.: УЭС Госкомсвязи России, 1998, – 291 с.
3. Нормы приёмо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети общего пользования. Утверждено приказом Госкомсвязи России №97 от 17.12.97.
4. ОСТ 45.82-97. Линии кабельные абонентские ГТС. Нормы эксплуатационные. М.: ЦНТИ «ИНФОРМСВЯЗЬ», 1998, – 5 с.

ENGINEERING INFRASTRUCTURE FOR CONSTRUCTING THE MAIN AND DISTRIBUTION NETWORK OF CABLE SEWAGE

Komarov A.N., Shakhtanov S.V.
(State Educational Institution of Higher Education "Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics")

Abstract. The article considers the features of construction and operation of cable sewage networks in urban development conditions.

УДК 621.39

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЁМКОСТИ АБОНЕНТСКОЙ СЕТИ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ В СЕЛЬСКИХ РАЙОНАХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Дарий С.В., Шахтанов С.В.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Работа посвящена статистическому исследованию динамики абонентской ёмкости фиксированной связи в сельском районе Нижегородской области. В исследовании проанализированы ретроспективные данные 1994–2007 гг., выявлены ключевые тенденции роста и структурные изменения, что позволяет прогнозировать дальнейшее развитие телекоммуникационной инфраструктуры региона.

Развитие телекоммуникационной инфраструктуры в сельских территориях остаётся критически важным фактором социально-экономической устойчивости. Абонентская ёмкость сетей фиксированной связи — один из базовых параметров, определяющий доступность услуг, потенциал подключения социальных объектов и бизнеса, а также запас для дальнейшей цифровой трансформации. При этом локальные статистические ряды по малым населённым пунктам редко представлены в унифицированном виде, что затрудняет сопоставимый анализ динамики.

Эмпирической базой служат цифровые таблицы отчётности предприятий электросвязи и ретроспективные своды, охватывающие многолетний период наблюдений. Данные проходят процедуру очистки, приведения к сопоставимому формату и агрегирования. Методический инструментарий включает описательную статистику, индексы и темпы роста, анализ разностей (год-к-году), сглаживание и аппроксимацию тренда, а также графический анализ уровней и приростов. Особое внимание уделяется верификации единиц измерения и оценке возможного смещения, связанного с изменением форм отчётности.

Опираясь на имеющиеся статистические данные с 1994 года по 2007 года по районному узлу электросвязи (РУЭС) Большемурашкинского района, можно выделить несколько тенденций, которые коррелируют между собой. К примеру, было замечено, что по достижению 100% показателя задействованной установленной ёмкости в сёлах: Григорово, Холязино, Кишкино и Рождествено с 2002-го года началось активное наращивание абонентской ёмкости телефонов для обеспечения нужд населения. Кратно вырос показатель количества абонентских линий до 2 км и более 2км в связи с расширением территории поселений.

Несмотря на изменение формы отчётности и появление дополнительных параметров сегментации данных общие тенденции остаются неизменными. Также наблюдается умеренный рост числа абонентских линий для предприятий, что связанно с медленными темпами развития инфраструктуры и экономического роста региона в целом.

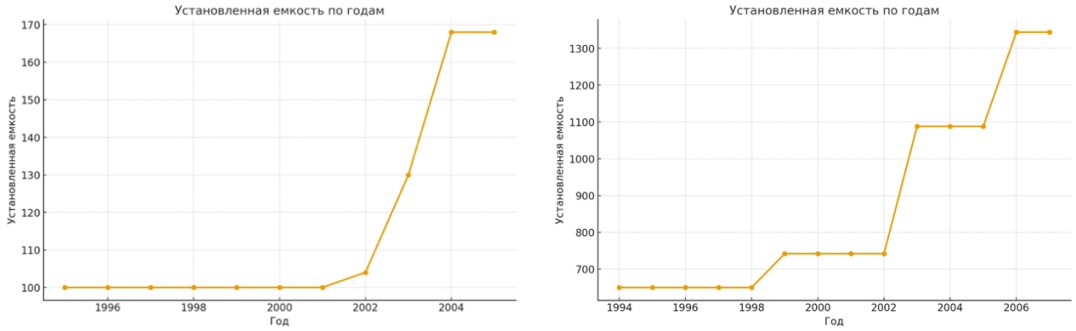


Рис. 1. Динамика роста монтированной емкости абонентских линий в селе Холязино и Большемурашкинском РУЭС Нижегородской обл. с 1995 по 2005 года

Общее число монтированной ёмкости в течение периода с 1994 – 2007 года росло равномерно с малыми поправками.

Как видно на графике, период увеличения монтированной емкости с каждым разом сокращался, что указывает на повышенный спрос телефонных услуг в данном районе. Также данная динамика позволяет спрогнозировать дальнейший рост и объём требуемой монтированной ёмкости в районе, что позволяет спланировать дальнейшее развитие и архитектуру сетей связи в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Papoulis A., Pillai S.U. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. – McGraw-Hill, 2002. – 852 p.

2. Koliander G., El-Laham Y., Djurić P.M., Hlawatsch F. Fusion of Probability Density Functions. – arXiv, 2022. – 20 p.

3. Руденко М.Б., Голодков Ю.Э., Добров А.Н. Развитие российского программного обеспечения для статистической обработки данных. // Образование и право. – 2024. – №11. С. 511-515.

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF CHANGE IN THE CAPACITY OF THE SUBSCRIPTOR TELEPHONE COMMUNICATION NETWORK IN RURAL AREAS OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

Dariy S.V., Shakhtanov S.V.

(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

Abstract. The work is devoted to a statistical study of the dynamics of the subscriber capacity of fixed-line communications in a rural area of the Nizhny Novgorod Region. The study analyzes retrospective data from 1994–2007, identifies key growth trends and structural changes, which allows us to predict the further development of the telecommunications infrastructure of the region.

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЧАТ-БОТА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Ермолаева О.С., Диязитдинова А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современное здравоохранение остро нуждается в цифровых преобразованиях, это не вопрос будущего, а вопрос настоящего.

В современных медицинских учреждениях эффективное информационное обеспечение немыслимо без активного применения передовых информационных технологий, программного обеспечения, баз данных и информационных систем. В настоящее время в мессенджерах набирают популярность чат-боты – программы, предназначенные для ведения диалога с пользователем, используя либо заранее подготовленные ответы, либо фразы, созданные с помощью искусственного интеллекта.

Чат-боты различаются по нескольким ключевым параметрам: месту их интеграции (мессенджеры, сайты, приложения, голосовые ассистенты), используемым технологиям (от простых сценариев до продвинутого ИИ), способу взаимодействия с пользователем (текст или голос) и их функциональным возможностям.

По сложности они варьируются от элементарных, выполняющих одну задачу, до интеллектуальных систем.

По способу общения чат-боты бывают:

- текстовые: распознают ключевые слова в сообщениях;
- голосовые: взаимодействуют с помощью речи, способны понимать и воспроизводить ее. Голосовые боты эффективны для массовой обработки звонков, информирования, проведения опросов и решения типовых задач.

Agile (эджайл) – это гибкий подход к управлению проектами, зародившийся в информационных технологиях для разработки программного обеспечения. В Agile же цель – как можно быстрее выпустить рабочий продукт, который можно начать использовать, постоянно внося коррективы в его функционал и поддерживая тесную связь с заказчиком на всех этапах.

Среди многообразия объектно-ориентированных языков программирования, Python выделяется как наиболее подходящий инструмент для разработки ботов.

В качестве платформы для взаимодействия с пользователями выбран мессенджер Telegram. Telegram-боты обладают широким спектром уникальных возможностей, расширение стандартных команд, интеграцию с внешними сервисами и настройку режимов приватности для групповых чатов.

Реализация чат-бота потребует тесного взаимодействия разработчиков с ИТ-отделом медицинского учреждения для обеспечения безопасной интеграции с существующими системами, соблюдения требований к защите персональных данных и создания надежной инфраструктуры для его функционирования.

Такой подход позволит создать не просто изолированное решение, а полноценно интегрированный инструмент, способный оптимизировать процессы медицинского учреждения и улучшить качество обслуживания пациентов.

Ключевая задача ИТ-отдела – поддерживать стабильную и безопасную работу всего программного обеспечения и компьютерного оборудования. Без этого невозможно предоставлять пациентам качественные медицинские услуги. Повседневная работа отдела сочетает оперативное решение срочных проблем с плановой работой по развитию и модернизации ИТ-инфраструктуры.

1. Работа с информационными системами: от Региональной Медицинской Информационной Системы (РМИС) до управления доступом: внедрение и поддержка РМИС; интеграция с внешними сервисами; управление базами данных; контроль прав доступа.

2. Поддержка и обслуживание периферийного оборудования: подбор и закупка оборудования; установка и настройка драйверов; организация сетевой печати и сетевого оборудования; решение проблем.

Внедрение медицинского чат-бота – это всегда совместная работа. Нашим разработчикам предстоит плотно взаимодействовать с ИТ-отделом учреждения, чтобы организовать безопасное подключение к существующим системам. Особое внимание будет уделено соответствию требованиям по защите персональных данных пациентов – это критически важно для медицинских учреждений.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AI CHATBOT FOR THE DIGITALIZATION OF MEDICAL INSTITUTIONS

Ermolaeva O.S., Diyazitdinova A.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problem of digital transformation of healthcare and the need to implement modern information solutions, such as chatbots, is considered. The development of a chatbot using the Agile flexible technology, the Python programming language and its integration into the Telegram messenger is proposed. The key stages of interaction with the IT department of the institution are described. The criteria for selecting technologies and platforms have been defined, as well as a list of critical tasks for ensuring security, stability, and compliance with data protection requirements.

УДК 004.852

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОЙ ПОЛИТИКИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПАНИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Карзанов Д.В., Диязитдинова А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Телекоммуникационная отрасль переживает значительную трансформацию, обусловленную интеграцией искусственного интеллекта (ИИ) в маркетинговые стратегии. Эта эволюция открывает новые возможности роста, позволяя телекоммуникационным компаниям более эффективно анализировать данные клиентов и оптимизировать свою маркетинговую политику.

В сфере предиктивной аналитики активно применяются различные типы нейронных сетей. Среди них особое место занимают модели контролируемого обучения, включающие рекуррентные нейронные сети, многослойный перцептрон. Не менее эффективны модели неконтролируемого обучения**,** сверточные нейронные сети и сети глубокого убеждения.

Алгоритмы ИИ характеризуются повышенными требованиями к ресурсам: им необходимо значительное время на обучение и внушительные массивы данных для достижения высокой точности прогнозов. Однако для телекоммуникационных компаний это не представляет существенной сложности – они располагают огромными объемами информации, что делает внедрение ИИ решений особенно перспективным.

Рассмотрим перспективы применения ИИ как инструмента маркетинговой стратегии в телекоммуникационном секторе более детально.

1. Персонализация подхода. Анализируя взаимодействие с клиентами, их предпочтения и отзывы, искусственный интеллект может предложить ценную информацию о потребностях и ожиданиях клиентов. Это понимание позволяет адаптировать свои маркетинговые усилия к конкретным запросам клиентов, повышая вовлеченность и удовлетворенность. ИИ облегчает создание персонализированных маркетинговых кампаний, разделяя клиентов на основе их поведения и предпочтений. Такой целенаправленный подход гарантирует отклик у целевой аудитории, что приводит к повышению лояльности клиентов.

2. Сегментация клиентской базы. Современные поставщики связи активно применяют методы машинного обучения, в частности сегментацию (кластеризацию), для автоматической группировки обширных массивов клиентских данных. Такой подход позволяет существенно сократить временные затраты на анализ информации, обеспечить высокую точность сегментации, работать с неструктурированными данными. В отличие от ручной классификации, основанной на субъективных предположениях, автоматизированная система способна выявлять скрытые закономерности и предпочтения клиентов, которые могли бы остаться незамеченными при ручном анализе.

3. Предсказание оттока клиентов. Телекоммуникационные компании, работающие по подписной модели**,** сосредоточены преимущественно на удержании клиентов. Предиктивная аналитика позволяет выявлять абонентов, склонных к отказу от услуг. На основе анализа данных о клиентах, прекративших или продливших подписку, ИИ определяет ключевые факторы оттока. Например, повышенный риск отмены подписки может быть связан с наличием более двух жалоб или определенным уровнем ежемесячных расходов. Для прогнозирования оттока применяются различные методы машинного обучения**:** искусственные нейронные сети**,** рекуррентные нейронные сети, многослойный персептрон, логистическая регрессия. После выявления потенциально «рискованных» клиентов компания может применять таргетированные меры удержания: персонализированные предложения или усиленную рекламную коммуникацию.

В построении модели на основе ИИ обычно задействованы следующие этапы: 1) Предварительная обработка данных – подготовка данных к анализу и обучению моделей: нормализация – приведение данных к одному масштабу; обработка выбросов – удаление данных, значительно отличающихся от остальных; кодирование категориальных переменных – присвоение каждой категории числового значение. 2) Построение классификационных моделей и анализ качества их работы: наивный Байесовский классификатор; логистический классификатор; деревья решений; случайные леса. 3) Оценка качества моделей – такие метрики, как: точность; полнота; F1-мера; специфичность.

FORECASTING MARKETING POLICIES IN TELECOMMUNICATION COMPANIES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY

Karzanov D.V., Diyazitdinova A.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The telecommunications industry is undergoing a significant transformation driven by the integration of artificial intelligence into marketing strategies. This evolution presents new growth opportunities, allowing telecommunications companies to analyze customer data more effectively and optimize their marketing policies. This article focuses on the potential of using artificial intelligence as a marketing strategy tool in the telecommunications sector.

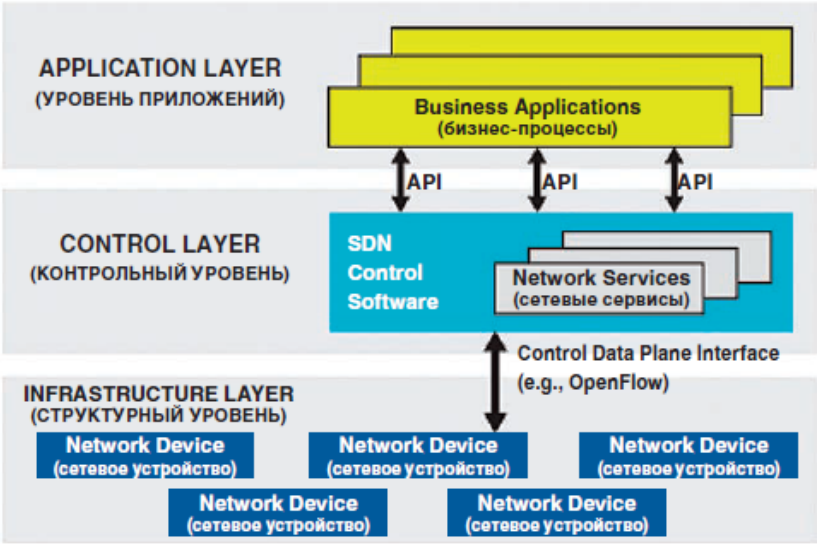
УДК 621.391

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ ПКС/SDN

Марыкова Л.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Концепция программно-конфигурируемых сетей (ПКС/SDN) – это путь к автоматизации, программируемости и открытости сетей связи. Внедрению технологии ПКС/SDN способствовали экспоненциальный рост информационного трафика и технологии виртуализации.

В основу технологии положена идея управления сетью в целом, а не отдельными ее элементами. Изображенная на рисунке архитектура сети ПКС/SDN включает три уровня:



Архитектура ПКС/SDN

- уровень приложений (APPLI CATION LAYER) – это высокий уровень технологии ПКС/SDN, который формулирует задания для SDN-контролера

- контрольный уровень (CONTROL LAYER) подразумевает использование центрального SDN-контролера, который управляет сетевым устройствами сети, формируя им задания по коммутации/маршрутизации информационного трафика. При этом с сетевых устройств снимается функция контроля.

- уровень сетевой инфраструктуры (INFRASTRUCTURE LAYER) реализуется на сетевых устройствах и осуществляет передачу данных.

Уровни ПКС/SDN обмениваются информацией с использованием программных интерфейсов приложений (Application Program Interfaces API). Контрольный уровень обмениваются информацией с уровень сетевой инфраструктуры с использованием протоколов SBI, а с уровнем приложений через программные API интерфейсы NBI (North Bound Interface).

Крупные операторы связи стремятся внедрять технологию ПКС/SDN в инфокоммуникационных сетях.

Внедрение технологии ПКС/SDN существенно изменит процессы развертывания и управления сетями связи. Масштаб изменений в инфокоммуникациях сравнивают с масштабами изменений при переходе от аналоговой к цифровой структуре сети.

SOFTWARE-DEFINITIVE NETWORK ARCHITECTURE/SDN

Marykova L.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The concept of software-defined networks (SDN) is a path towards automation, programmability and openness of communication networks. The technology is based on the idea of managing the network as a whole, rather than its individual elements.

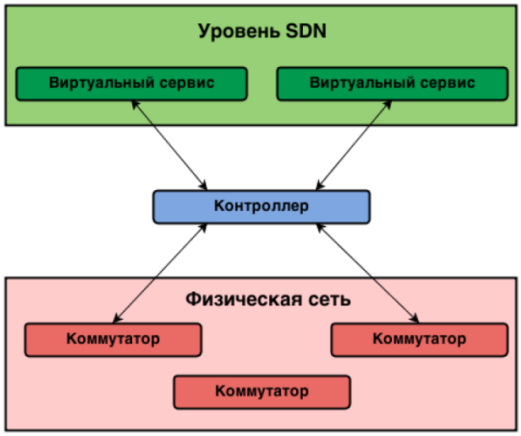
УДК 621.391

ВИРТУАЛИЗАЦИЯ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ SDN

Марыкова Л.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Глобальная сеть Интернет представляет собой автономные системы, которые дают возможность масштабировать и расширять сети, продвигая информационные потоки через транзитные участки с достаточной отказоустойчивостью. Такое построение не дает возможности менять топологию сети. Автономные сети не дают возможностей логической группировки, контроля доступа, качества сервиса и межсетевого взаимодействия. С целью преодоления недостатков сетей введен новый стандарт – виртуальные локальные сети (VLAN).

Существующие сетевые технологии базируются на различных протоколах для конкретных устройств, подключенных к сети, которые предоставляют сетевые сервисы или ресурсы. При введении в сеть нового устройства требуется изменение конфигурации коммутаторов, маршрутизаторов и других действующих устройств, используя механизмы администрирования конкретного устройства типа и версии ПО изготовителя. Развитие облачных архитектур с использованием мобильных и виртуальных устройств делает актуальной решение проблемы программно-конфигурируемых сетей (SDN) более высокого уровня.



Структура программно-конфигурируемой сети

В SDN-сетях функции управления и контроля отдельными устройствами сети отведены центральному контроллеру. Контроллер выполняет эти функции абстрактно без изменения идентификационных данных, упрощая сетевые операции. Функции контроля программируются приложениями. Инфраструктура сети теперь можно рассматривать как виртуальную структуру.

Программный сетевой контроллер отслеживает состояние инфраструктуры сети и информационных потоков в ней. Такая сеть является абстракцией для приложений, а управление сетью концентрируется в одном контролере, что упрощает функции конфигурации и управления сетью. Так как

сеть получает команды от единого контролера, то нет необходимости в поддержке различных протоколов.

Для изменения архитектуры сети в реальные сроки требуется только настройка программного контролера. Исходя из задач конкретного потребителя, сетевой контроллер имеет широкий набор прикладных программ по маршрутизации, безопасности, качеству обслуживания, контроля доступа, управления полосой пропускания.

На данном этапе развития SDN-сетей для обеспечения связи между устройствами передачи данных и уровнем управления используется протокол OpenFlow. Базовые возможности протокола могут программировать схемы пересылки сетевых устройств. Открытый протокол OpenFlow программирует таблицы потоков на различных коммутаторах и маршрутизаторах.

VIRTUALIZATION IN SOFTWARE-DEFINITIVE NETWORK SDN

Marykova L.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The development of cloud architectures using mobile and virtual devices makes it urgent to solve the problem of software-defined networks (SDN) at a higher level.The development of cloud architectures using mobile and virtual devices makes it urgent to solve the problem of software-defined networks (SDN) at a higher level.

УДК 004.75

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ И УРОВНЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Афанасьев А.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последние десятилетия технологии облачных и туманных вычислений значительно изменили подходы к управлению и обработке данных в распределённых системах [1]. С развитием Интернета вещей (IoT) и ростом объёмов данных, необходимость эффективного управления качеством обслуживания (QoS) и уровнями обслуживания (SLA) становится ключевым фактором для обеспечения надёжности и эффективности современных коммуникационных систем [2]. Облачные вычисления предлагают мощные ресурсы для обработки и хранения данных. Туманные вычисления позволяют перенести часть вычислительных операций ближе к периферийным устройствам, минимизируя задержки и обеспечивая более высокую реакцию в реальном времени [3].

Возникает проблема обеспечения надёжности и удовлетворение требований к качеству обслуживания в таких сложных распределённых системах. QoS и SLA играют важную роль в этой задаче, т.к. позволяют контролировать задержки, пропускную способность, доступность и надежность. В условиях гибридных систем, где взаимодействуют облачные и туманные технологии, необходимость их объединения становится особенно актуальной, т.к. обеспечивает оптимальное распределение ресурсов, улучшая производительность и минимизируя ошибки.

Работа посвящена оценке качества обслуживания и уровней обслуживания в контексте облачных и туманных технологий. Рассмотрим, как эти технологии могут быть использованы для улучшения качества сетевых сервисов, анализа производительности и обеспечения стабильности в условиях динамически изменяющихся требований. В работе исследованы методы мониторинга и оптимизации QoS и SLA, предложены подходы к интеграции облачных и туманных вычислений с целью повышения эффективности и гибкости обслуживания конечных пользователей.

В современных распределённых системах, включая IoT, облачные и туманные вычисления, традиционные алгоритмы маршрутизации не всегда обеспечивают требуемое качество обслуживания (QoS), даже при высокой динамике топологии сети. Использование виртуальных координатных систем для маршрутизации становится перспективным направлением и позволяет назначать каждому узлу виртуальные координаты в многомерном пространстве и принимать решения о выборе маршрута на основе их относительного положения [4]. Рассматриваемы в [4] подход может значительно снизить вычислительные затраты, уменьшить объём управляющего трафика и повысить

масштабируемость сети. В сочетании с облачными и туманными технологиями маршрутизация с применением виртуальных координатных систем позволяет эффективно распределять ресурсы и обеспечивать более высокое качество обслуживания в сложных гетерогенных сетях.

В дальнейших исследованиях планируется сосредоточиться на нескольких ключевых направлениях для улучшения эффективности маршрутизации и повышения качества обслуживания в распределённых системах. Во-первых, будет продолжено исследование методов интеграции виртуальных координатных систем с облачными и туманными вычислениями для создания более динамичных и масштабируемых маршрутизаторов. Второй важной областью станет разработка адаптивных алгоритмов маршрутизации, которые смогут автоматически учитывать изменения в топологии сети и варьировать параметры маршрутов в зависимости от текущих условий сети, таких как задержки и пропускная способность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157-168.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

3. Глушак, Е.В. Исследование задержек при передаче данных в медицинских сетях с помощью программы iFogSim / Е.В. Глушак, П.Д. Михайлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2024. – Т. 22, № 2(86). – С. 35 - 45.

4. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е.В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

ASSESSMENT OF QUALITY OF SERVICE AND SERVICE LEVEL AGREEMENT USING CLOUD AND FOG TECHNOLOGY

Afanasiev A.S.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This paper explores the integration of virtual coordinate systems with cloud and fog computing technologies to enhance routing efficiency and Quality of Service (QoS) in distributed networks. We investigate how virtual coordinates can be used to optimize data routing by reducing computational overhead and improving network scalability. The study also examines adaptive routing algorithms that dynamically adjust based on network topology changes and real-time conditions such as latency and bandwidth. Additionally, we propose methods for ensuring network reliability and resilience in the face of congestion and failures, with a focus on practical applications in IoT, smart cities, and autonomous systems.

УДК 004.056.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАЧНО-ТУМАННЫХ АРХИТЕКТУРАХ

Глушак Е.В., Михайлова П.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Облачные и туманные вычисления играют ключевую роль в современных распределенных системах, обеспечивая гибкие и безопасные решения обработки данных и улучшая производительность и масштабируемость сети [1]. Известные традиционные способы передачи данных сталкиваются с проблемами адаптивности в условиях изменяющейся нагрузки [2–4]. Интеллектуальная маршрутизация с использованием машинного обучения представляет собой решение, способное оптимизировать маршруты передачи данных в реальном времени, учитывая сетевые параметры и требования QoS.

В докладе рассматриваются возможности применения методов машинного обучения для маршрутизации в облачно-туманных архитектурах. На основе [1] был разработан алгоритм передачи данных с использованием машинного обучения (Рис. 1).

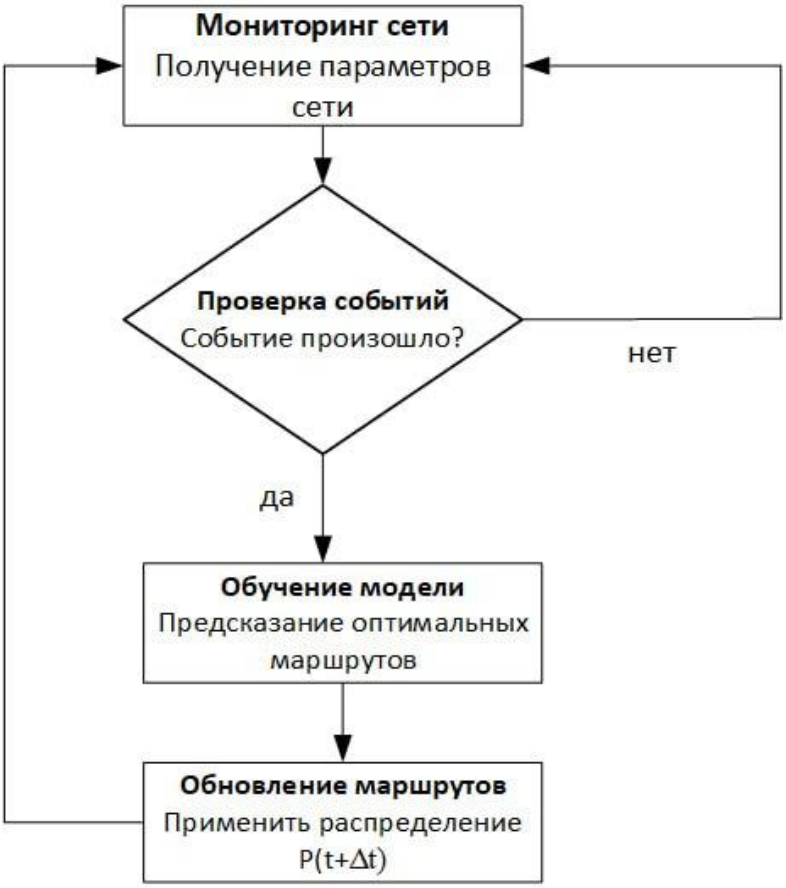


Рис. 1. Передача данных на основе машинного обучения

Реализованный алгоритм интеллектуальной передачи данных отличается от существующих решений возможностью обучаться и принимать решения в режиме реального времени. По сравнению с традиционными методами, которые используют статические алгоритмы, метод машинного обучения при передаче данных предсказывает оптимальные маршруты, анализируя возможные данные о сети. Алгоритм учитывает задержки, пропускную способность, доступность ресурсов и позволяет более точно выбирать маршруты в условиях изменяющегося трафика.

В отличие от статических решений, система автоматически обновляет свою модель маршрутизации, адаптируясь к текущим условиям без необходимости ручной настройки. Машинное обучение позволяет учитывать сложные и многогранные факторы. Интеллектуальные алгоритмы обеспечивают более качественную маршрутизацию, чем традиционные методы, ориентированные только на минимизацию одного параметра, например, задержки. Предложенный алгоритм дает значительное улучшение в управлении маршрутизацией данных в облачно-туманных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157 - 168.

2. Сухов, А.М. Маршрутизация в циркулянтных графах на основе виртуальной координатной системы / А.М. Сухов, А.Ю. Романов, Е.В. Глушак // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 3. – С. 282 - 293.

3. Глушак Е.В., Клюев Д.С., Воловач В.И. Анализ распределения задач в системе облачных и туманных вычислений // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Том 19. №7. С. 25 – 33.

4. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е. В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

INTELLIGENT ROUTING USING MACHINE LEARNING IN CLOUD-FOG ARCHITECTURES

Glushak E.V., Mikhailova P.D.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

The report proposed an intelligent routing algorithm that, unlike static solutions, updates its routing model to adapt to current conditions without the need for manual configuration. It has been proven that machine learning allows you to take into account complex and multifaceted factors. The proposed algorithm provides a significant improvement in managing data routing in cloud-fog systems. The possibilities of using machine learning methods for routing in cloud-fog architectures are considered.

УДК 004.75:519.863.1

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ВАРИАЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ С УЧЕТОМ QOS-ОГРАНИЧЕНИЙ В ОБЛАЧНО-ТУМАННОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Глушак Е.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные облачно-туманные архитектуры представляют собой сложные гетерогенные системы, требующие эффективного распределения вычислительных ресурсов между облачными центрами обработки данных, туманными узлами и граничными устройствами [1]. Традиционные подходы к оптимизации, основанные на однокритериальной минимизации, не способны адекватно учесть противоречивые требования современных приложений [2].

В связи с этим актуальной становится задача многокритериальной вариационной оптимизации, позволяющей найти компромиссные решения при строгом соблюдении QoS-ограничений по задержке, пропускной способности, надежности и доступности сервисов [3]. Настоящая работа посвящена разработке математических моделей и алгоритмов решения данной задачи с учетом динамической природы облачно-туманной среды и неопределенности параметров системы.

Пусть $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – вектор решения, где x_i представляет параметры системы (например, ресурсы, конфигурация вычислений, распределение задач). Функция $f_j(x)$, $j = 1, 2, \ldots, m$ характеризует критерии оптимизации. Функция $g(x)$, $k = 1, 2, \ldots, p$ представляет ограничения QoS, а x_L и x_U – нижние и верхние границы для каждой переменной вектора x. Задача оптимизации состоит в минимизации (или максимизации) нескольких критериев одновременно.

Это можно записать как $\min_x[f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x)]$, где $f_j(x)$ представляет собой функции различных критериев. В данном случае речь идет о многокритериальной оптимизации, что подразумевает необходимость нахождения решений, которые являются компромиссом между различными целями.

Множество ограничений, включая ограничения качества обслуживания (QoS), могут быть записаны как $g(x)$, $k = 1, 2, \ldots, p$, где $g(x)$ представляет собой функции, которые ограничивают допустимые значения для каждой из метрик качества обслуживания.

В контексте облачно-туманной архитектуры необходимо учитывать распределение вычислительных ресурсов между облаком и туманом, что приводит к дополнительным ограничениям на вычислительные мощности, пропускную способность.

Следовательно, математическая модель может быть записана как задача оптимизации $\min_x[f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x)]$ с ограничениями $g(x) \leq 0$, $k = 1, 2, \ldots, p$ и $x_L \leq x \leq x_U$, где x – это вектор переменных, которые могут включать в себя

решения, связанные с распределением нагрузки, использованием облачных и туманных ресурсов и их взаимодействием для обеспечения требуемого QoS.

Предложенная модель может распределять ресурсы между облачными и туманными узлами, удовлетворяя требованиям различных критериев (производительность, задержка и энергопотребление).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157-168.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

3. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е. В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

MULTI-CRITERIA VARIATIONAL OPTIMIZATION BASED ON QOS CONSTRAINTS IN A CLOUD-FOG ARCHITECTURE

Glushak E.V.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This work is devoted to the development of mathematical models and algorithms for solving routing problems, taking into account the dynamic nature of the cloud-fog environment and the uncertainty of the system parameters. The paper proposes a multi-criteria variational optimization model, taking into account the quality of service, which is aimed at allocating resources between nodes in a cloud-fog environment.

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В IOT-СЕТЯХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Захаров В.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В условиях быстрого развития интернета вещей (IoT) оптимизация маршрутизации данных становится актуальным направлением для обеспечения высокой производительности и минимальных задержек в сетях [1]. Эффективным подходом является использование гибридных методов маршрутизации, которые комбинируют различные алгоритмы и технологии для повышения надежности и качества передачи данных [2]. В докладе рассматривается применение гибридных методов маршрутизации в IoT-сетях, направленных на оптимизацию использования сети, снижение потерь данных и улучшение качества обслуживания (QoS). Анализируются методы, которые совмещают статическую и динамическую маршрутизацию и использование облачных и туманных вычислений для обработки данных [3].

В сетях Интернета вещей есть несколько методов маршрутизации, которые можно использовать для оптимизации передачи данных. Широко используемым является метод, который включают статическую маршрутизацию, когда маршруты заранее фиксируются, и динамическую маршрутизацию, которая адаптируется в реальном времени в зависимости от состояния сети. На основе [4] может применяться и географическая маршрутизация, ориентированная на расположение устройств, и маршрутизация с учетом QoS (качества обслуживания), которая учитывает такие параметры, как задержка, пропускная способность и потери пакетов.

У каждого из анализируемых методов есть свои недостатки и ограничения. Статическая маршрутизация не учитывает изменения в сети, снижается ее эффективность при высокой динамике IoT-сетей. Динамическая маршрутизация вычислительно затратная и требует больше времени для поиска оптимальных маршрутов. Географическая маршрутизация менее эффективная в сложных топологиях, когда устройства скрыты за другими объектами или сетевые соединения нестабильны [5].

Для повышения эффективности передачи данных в IoT-сетях в последнее время применяются гибридные методы маршрутизации, которые комбинируют преимущества различных подходов. В первую очередь, исследуемые подходы обеспечивают более адаптивное управление маршрутом. Улучшается баланс между энергозатратами, производительностью и временем отклика. На основе проведенного анализа отметим, что гибридные методы обладают рядом проблем в эффективном мониторинге состояния сети и интеграции различных протоколов маршрутизации.

В дальнейших исследованиях планируется провести анализ по улучшению алгоритмов гибридной маршрутизации в условиях перегрузки сети. Планируется

исследовать новые способы адаптации маршрутов в зависимости от сетевой топологии и условий работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157-168.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

3. Глушак, Е.В. Исследование задержек при передаче данных в медицинских сетях с помощью программы iFogSim / Е.В. Глушак, П.Д. Михайлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2024. – Т. 22, № 2(86). – С. 35 - 45.

4. Сухов, А.М. Маршрутизация в циркулянтных графах на основе виртуальной координатной системы / А.М. Сухов, А.Ю. Романов, Е.В. Глушак // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 3. – С. 282 - 293.

5. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е.В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

USING HYBRID ROUTING METHODS IN IOT NETWORKS TO OPTIMIZE DATA TRANSMISSION

Zakharov V.S.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This report examines the use of hybrid routing methods in Internet of Things networks to optimize data transmission. It discusses static routing, dynamic routing, geographic routing, and QoS-based routing, as well as advantages and limitations in the context of the Internet of Things. The research focuses on how combining different routing strategies can improve network performance, reduce latency, and improve energy efficiency. Future research directions include further development of adaptive hybrid routing algorithms and integration of machine learning for dynamic network optimization.

УДК 004.722.53

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ СВЯЗИ В IOT-УСТРОЙСТВЕ НА БАЗЕ M5STACK ATOM LITE

Росляков А.В., Гасанов Р.Р.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С развитием Интернета вещей (IoT) возрастает потребность в энергоэффективных решениях, особенно для автономных устройств, работающих в удалённых или труднодоступных условиях [1]. Модуль M5Stack ATOM Lite, основанный на чипе ESP32, поддерживает Wi-Fi, Bluetooth и инфракрасный порт, что делает его удобным для различных сценариев применения [2].

В эксперименте использовался микроконтроллер M5Stack ATOM Lite для управления режимами энергосбережения. Для подключения к источнику питания применялся USB-тестер с функцией измерения тока и напряжения, что позволило в реальном времени отслеживать потребление энергии при различных режимах работы и типах интерфейсов (Wi-Fi, Bluetooth, инфракрасный порт).

На основе полученных данных произведен расчет мощности и времени автономной работы устройства при использовании батареи ёмкостью 1000 мАч. Измерения проводились в четырёх режимах (активная передача данных, режим ожидания, лёгкий сон, глубокий сон). Результаты эксперимента занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Интерфейс	**Режим работы**	**Ток, мА**	**Мощность, мВт**	**Время автономной работы**
Wi-Fi	Передача	120	396	~8.3 ч
Wi-Fi	Ожидание	45	148.5	~22 ч
Wi-Fi	Light Sleep	10	33	~100 ч
Wi-Fi	Deep Sleep	0.5	~1.65	~2000 ч
Bluetooth	Передача	30	99	~33 ч
Bluetooth	Ожидание	10	33	~100 ч
Bluetooth	Light Sleep	4	13.2	~250 ч
Bluetooth	Deep Sleep	0.5	~1.65	~2000 ч
ИК-порт	Передача	20	66	~50 ч
ИК-порт	Ожидание (неактивен)	5	16.5	~200 ч
ИК-порт	Light Sleep	2	6.6	~500 ч
ИК-порт	Deep Sleep	0.5	~1.65	~2000 ч

Полученные данные позволяют оценить эффективность каждого интерфейса и режима с точки зрения энергопотребления. Анализ показал, что наибольшее энергопотребление наблюдается при активной работе по Wi-Fi – до 396 мВт, что на 300% выше, чем у Bluetooth (99 мВт), и на 500% выше, чем у инфракрасного порта (66 мВт). Переход в режим Light Sleep снижает потребление энергии на 70-80% по сравнению с режимом ожидания, а в режиме Deep Sleep – более чем на 99%. Наиболее энергоэффективными являются режимы Deep Sleep для всех интерфейсов, обеспечивая до ~2000 часов автономной работы от батареи ёмкостью 1000 мА·ч.

Выбор интерфейса связи и режима работы микроконтроллера напрямую влияет на энергопотребление и, как следствие, на время автономной работы IoT-устройства. Использование Wi-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных, но сопровождается значительными энергозатратами, в то время как Bluetooth и инфракрасный порт потребляют существенно меньше энергии, что делает их более подходящими для энергоограниченных приложений. Для практического применения в энергоограниченных IoT-устройствах наиболее целесообразно использовать режим Deep Sleep с кратковременной активацией интерфейсов при необходимости передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В. Стандартизация интернета вещей в России // Стандарты и качество. 2020. № 7. С. 18-23.
2. Гасанов Р.Р. Применение модуля M5STACK ATOM LITE в сфере Интернета вещей / 64 студенческая научная конференция ПГУТИ. 2025. С. 298-299.

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION WHEN USING VARIOUS COMMUNICATION INTERFACES IN AN IOT DEVICE BASED ON THE M5STACK ATOM LITE

Roslyakov A.V., Gasanov R.R.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This study presents a comparative analysis of the power consumption of the M5Stack ATOM Lite microcontroller when using Wi-Fi, Bluetooth BLE and infrared radiation. The measurements were carried out in various power consumption modes, including active transmission, standby mode, light and deep sleep. The results show that deep sleep reduces energy consumption by more than 99%, significantly extending battery life to 2,000 hours. These results provide practical information for the development of energy-efficient IoT devices powered by batteries or remotely.

УДК 004.722.53

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ IOT-УСТРОЙСТВ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ M5STACK ATOM LITE

Росляков А.В., Гасанов Р.Р.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Интернет вещей (IoT) стремительно развивается и охватывает всё больше сфер - от «умного» дома до сельского хозяйства и промышленности [1]. С ростом числа устройств особенно актуальной становится проблема энергоэффективности, так как многие IoT-узлы работают автономно и зависят от ёмкости батареи. Компактный модуль M5Stack ATOM Lite на базе ESP32 активно применяется в IoT-системах благодаря своим возможностям и поддержке энергосберегающих режимов [2]. Для эффективного проектирования таких систем важно точно знать, как изменяется энергопотребление устройства в разных режимах работы. В работе исследовалось энергопотребление ATOM Lite и были определены оптимальные режимы работы для энергоограниченных IoT-приложений.

Для эксперимента использовался M5Stack ATOM Lite на микроконтроллере ESP32-PICO-D4, который представляет собой двухъядерный чип с тактовой частотой до 240 МГц и поддержкой Wi-Fi и Bluetooth. Устройство питалось от напряжения 5В через порт USB-C, при этом внутренние схемы работали на 3,3В, а потребление тока зависело от режима работы и могло варьироваться от миллиампер до десятков миллиампер. Модуль оснащён базовыми интерфейсами ввода-вывода, включая GPIO, I²C, UART, что позволило подключить широкий спектр внешних датчиков и исполнительных устройств.

Для проведения эксперимента по измерению энергопотребления M5Stack ATOM Lite использовался блок питания и цифровой мультиметр для точного контроля тока. Измерения проводились в четырёх режимах: активная передача данных по Wi-Fi, режим ожидания (Idle), лёгкий сон (Light Sleep) и глубокий сон (Deep Sleep). Основная разница между лёгким и глубоким сном заключается в уровне активности устройства. В лёгком сне процессор и некоторые компоненты остаются частично активными, а в глубоком сне большинство компонентов, включая процессор и Wi-Fi, полностью выключаются.

Проведённое исследование показало, что энергопотребление M5Stack ATOM Lite существенно зависит от выбранного режима работы. Использование энергосберегающих режимов позволяет существенно продлить срок автономной работы IoT-устройств. Это делает ATOM Lite подходящим решением для проектов, где критически важна энергоэффективность. Результаты эксперимента занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Режим работы	**Ток, мА**	**Мощность, мВт**	**Время автономной работы от батареи 1000 мАч**
Wi-Fi передача	120	396	~8.3 ч
Idle	45	148.5	~22 ч
Light Sleep	8	26.4	~125 ч
Deep Sleep	0.5	~0.8-1.65	~2000 ч

В дальнейших исследованиях планируется провести сравнение энергопотребления M5Stack ATOM Lite с другими микроконтроллерными платформами на базе ESP32 и ESP32-C3. Провести анализ влияния внешних датчиков и периферийных устройств на общую энергоэффективность системы. Дополнительно планируется исследовать оптимальные стратегии передачи данных для различных объёмов трафика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В. Стандартизация интернета вещей в России // Стандарты и качество. 2020. № 7. С. 18-23.
2. Гасанов Р.Р. Применение модуля M5STACK ATOM LITE в сфере Интернета вещей / 64 студенческая научная конференция ПГУТИ. 2025. С. 298-299.

RESEARCH ON THE ENERGY EFFICIENCY OF LOW-POWER IOT DEVICES USING THE M5STACK ATOM LITE AS AN EXAMPLE

Roslyakov A.V., Gasanov R.R.
(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

The report presents a study of the power consumption of the M5Stack ATOM Lite microcontroller in various operating modes relevant to IoT applications. Measurements were conducted during active Wi-Fi data transmission, in standby mode, and in light and deep sleep modes. The results show that deep sleep provides the most significant energy savings, making it suitable for battery-powered systems with limited energy consumption. These findings can help developers design more energy-efficient solutions for the Internet of Things.

УДК 621.395.4

ЭХО-СИГНАЛЫ В СЕТЯХ СВЯЗИ

В.И. Иванов
(«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

В условиях развития современных телекоммуникационных сетей, нацеленных на интеграцию технологий VoIP и VoLTE, проблема электрического эха сохраняет свою значимость.

Эта проблема возникает на границе между аналоговыми и цифровыми сигнальными трактами вследствие несовершенства гибридных схем, что приводит к нежелательным отражениям речевого сигнала. В условиях пакетных сетей, где задержки передачи данных могут быть значительными, данное явление усугубляется, что негативно сказывается на качестве воспринимаемой речи.

Цель настоящего исследования заключается в проведении количественного анализа влияния остаточного эха на эффективность передачи речевых сигналов. В рамках данной задачи предполагается рассмотрение ключевых параметров, таких как уровень эхоподавления, характеристики используемых кодеков, а также сетевые параметры, включая потери пакетов и джиттер. Целью данного анализа является разработка научно обоснованных рекомендаций по минимизации негативного воздействия эха в гетерогенных телекоммуникационных сетях.

С целью повышения точности обработки сигналов предложена модель симуляции в среде MATLAB, работающая с модулями на языке C++.

Модель эха была построена в соответствии с рекомендациями ITU-T G.168, что позволило варьировать параметры эхо-возвратного уровня (ERL) в диапазоне от 6 до 24 дБ и задержки в интервале от 50 до 250 мс. В качестве алгоритма эхоподавления был выбран метод наименьших средних квадратов (NLMS), дополненный детектором двойного разговора и нелинейным процессором для повышения эффективности подавления.

Для оценки качества передачи речи был применен метод POLQA, который позволяет проводить количественную оценку воспринимаемого качества речи по шкале MOS-LQO. Исследование проводилось на корпусе из 20 речевых файлов в соответствии с рекомендациями ITU-T P.50, при этом было выполнено более 15 000 симуляций.

Результаты эксперимента показали нелинейную зависимость между уровнем эхо-возвратного уровня (ERL), задержкой в сети и качеством передачи речи, оцениваемым по шкале MOS-LQO для кодека G.711. В частности, при ERL=12 дБ и увеличении задержки с 50 до 200 мс наблюдается снижение показателя MOS-LQO на 1,83 балла. Проведенный анализ показал, что кодек Opus превосходит AMR-WB при потере пакетов до 5%. Это достигается за счет применения механизма FEC, который значительно улучшает работу

эхоподавителя, обеспечивая разницу в 1,11 балла по шкале MOS-LQO при максимальной потере пакетов.

Джиттер также негативно влияет на качество передачи речи. Применения VBR-режима в кодеке Opus позволяет сделать минимальным этот эффект, (показатель MOS-LQO выше 3,6 сохраняется при джиттере 60 мс).

Корреляция между уровнем эхо-возвратного уровня (ERLE) и показателем MOS-LQO имеет нелинейный характер, с точкой насыщения, превышающей 28 дБ, что свидетельствует о высокой эффективности современных методов эхоподавления при значительных уровнях затухания. В таблице представлены результаты исследования влияния затухания несогласованности эхо (ERL) и задержки в сети на качество речи (MOS-LQO) при использовании кодека G.711 без потерь пакетов.

Односторонняя задержка, мс	ERL = 6 дБ	ERL = 12 дБ	ERL = 18 дБ	ERL = 24 дБ
50	3.12	3.88	4.21	4.35
100	2.45	3.24	3.97	4.28
150	1.88	2.61	3.59	4.16
200	1.43	2.05	3.11	3.92
250	1.19	1.67	2.64	3.57

Таким образом для обеспечения качества связи необходимо внедрять эхоподавляющие устройства компенсационного типа, использовать кодеки с повышенной устойчивостью и опираться на современные транспортные системы связи.

Эти меры обеспечивают качество связи, сопоставимое с традиционными телефонными сетями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anh Tuán N. Comparison of the convergence process of different echo suppression principles in a mobile communication network // T-Comm: Telecommunications and Transport. 2011. Vol. 5. No. 2. Pp. 58–60.

2. Ivanov V.I. Assessment of the interfering effect of electrical echo currents in modern telephone networks // Infocommunication Technologies. 2012. Vol. 10. No. 3. Pp. 37–40.

ECHO SIGNALS IN COMMUNICATION NETWORKS

V.I. Ivanov

(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. The paper presents a quantitative analysis of the impact of residual echo on speech transmission quality, taking into account echo parameters, echo cancellation efficiency, codec characteristics, and network distortions such as packet loss and jitter.

УДК 004.75

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Росляков А.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С развитием цифрового общества все больше и больше приложений требуют не только высокой вычислительной мощности, но и низкой задержки, что делает вычисления и сети связи тесно интегрированными. В отличие от технологий облачных, граничных и туманных вычислений требуется новая парадигма организации территориально-распределенных вычислений, которая сможет обеспечить более гибкое, эффективное и качественное предоставление вычислительных мощностей по запросу пользователей для поддержки разнообразных перспективных приложений (искусственный интеллект/машинное обучение, анализ больших данных, промышленный интернет вещей, умное производство, беспилотный транспорт и др.).

В 2019 году была предложена новая модель распределения вычислительных ресурсов – сеть вычислительных мощностей CPN (Computing Power Network), которая предоставляет вычислительные мощности как «вычислительную энергию», которая может передаваться, накапливаться и потребляться в распределённой сети узлов. Ключевую роль в разработке основополагающих стандартов для CPN играет сектор стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т). Начало этому процессу положила рекомендация МСЭ-Т Y.2501 [1], которая стала первым международным документом, описывающим общую архитектуру вычислительных сетей. В документах МСЭ-Т заложены концептуальные основы и базовые принципы организации CPN, включая структуру, функциональную архитектуру, эталонную модель интерфейсов, требования к системе сигнализации и методы управления распределенными вычислительными ресурсами.

Имеется похожая концепция – «первичная сеть вычислений» Compute First Networking (CFN) [2]. Идея CFN состоит в создании инфраструктуры, где вычислительные ресурсы доступны как первичные элементы, которые затем соединяются сетью для общего использования. По своей сути в CFN вычислительные ресурсы (такие как процессоры, оперативная память, массивы для хранения данных) рассматриваются как первичные, а телекоммуникационная сеть – как инструмент для их соединения и управления. Это позволяет создавать более гибкие и масштабируемые вычислительные системы, где ресурсы не привязаны к одному месту, а могут быть доступны из любой точки сети. CFN коренным образом меняет подход к вычислениям в сети. В отличие от традиционных пакетных сетей, основная задача которых – доставить пакет данных от исходной точки к точке назначения, цель CFN – доставить вычислительный результат. Ключевая идея заключается в том, что пользователь формулирует запрос на выполнение вычисления (например,

«распознать объекты на этом изображении» или «обработать этот набор данных»), а сеть сама находит оптимальные вычислительные ресурсы для выполнения этой задачи и возвращает уже готовый результат, а не сырые данные.

В целом концепции CFN и CPN очень близки по архитектурным подходам, но CFN – это в большей степени академический исследовательский проект, а CPN – это стандартизированная на международном уровне парадигма создания интегрированной экосистемы «вычислений + сетей», которая поддерживается коммерческими решениями. В докладе выполнен сравнительный анализ базовых принципов этих концепций, результаты которого приведены в табл.1.

Таблица 1

Сравнение концепций CPN и CFN

Концепция	CPN	CFN
Происхождение	Коммерческое (компания Huawei, Китай)	Академическое (ряд университетов Китая и США)
Основной фокус	Глобальная оркестрация и объединение вычислительных ресурсов через интеллектуальную сеть.	Изменение парадигмы передачи данных – сеть доставляет результаты вычислений, а не пакеты.
Ключевая идея	Единый пул вычислений, управляемый сетью.	Вычисления как основная услуга сети.
Подход	Инфраструктурный, ориентированный на управление ресурсами.	Архитектурный, ориентированный на модель запросов.
Стандартизация	Рекомендации МСЭ-Т Интернет-проекты IETF	Проекты документов IETF

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommendation ITU-T Y.2501. Computing Power Network – framework and architecture. 2021. 18 p.

2. Tian L., Yang M., Wang S. An overview of compute first networking // International Journal of Web and Grid Services. 2021. Vol. 17. Iss. 2. P. 81-97.

COMPUTING NETWORKS

Roslyakov A.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A comparison of two computing network concepts Computing Power Network (CPN) and Compute First Networking (CFN) was made.

УДК 654.04

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Столяров Д.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Качество работы сетей мобильной связи определяет уровень удовлетворенности абонентов и конкурентоспособность операторов. Под качеством в данном контексте понимается совокупность параметров, обеспечивающих возможность совершения голосовых вызовов, передачи данных и использования дополнительных сервисов без значительных задержек и с приемлемым уровнем надёжности. Для оценки качества применяются как объективные, так и субъективные методы измерения. К объективным методам относятся измерения основных параметров сети, уровня сигнала, соотношения сигнал/шум, вероятности обрыва соединения, задержки передачи пакетов, скорости передачи данных в нисходящем и восходящем каналах. Эти измерения выполняются с использованием специализированных приборов, а также программных средств, интегрированных в базовые станции и пользовательские устройства. Субъективные методы основаны на опросах абонентов, фиксирующих качество связи в реальных условиях использования.

Снижение качества связи может быть обусловлено множеством причин, среди которых наиболее распространенными являются перегрузка базовых станций из-за высокой плотности абонентов, недостаточная ёмкость радиочастотного спектра, географические и архитектурные особенности территории, создающие зоны затухания и экранирования сигнала, а также технические сбои оборудования.

Для улучшения качества связи операторы используют комплекс мероприятий. Среди них можно выделить увеличение плотности базовых станций в проблемных зонах, оптимизацию распределения радиоресурсов и динамическое управление мощностью сигнала. Значительное внимание уделяется применению технологии MIMO, позволяющей эффективно использовать спектр. Дополнительно важным направлением является внедрение малых сот, включая фемтосоты, которые устанавливаются внутри зданий и позволяют значительно улучшить качество сигнала и скорость передачи данных в помещениях с плохим проникновением радиоволн. Фемтосоты подключаются к сети оператора через широкополосный интернет и разгружают макросеть, что особенно актуально для густонаселённых районов и офисных зданий.

Для систематизации ключевых параметров качества работы мобильной сети и их влияния на пользовательский опыт целесообразно рассмотреть основные характеристики, способы их измерения, допустимые значения и последствия отклонений. Сводка, представленная в таблице1, позволяет оценить как техническую сторону функционирования сети, так и восприятие её качества абонентами.

Таблица 1

Основные параметры качества мобильной связи и их характеристика

Параметр	Метод измерения	Допустимое значение	Последствия при отклонении
Уровень сигнала (RSRP)	Тестовое оборудование	-115 дБм	Потеря устойчивости соединения
Отношение мощности полезного сигнала к сумме мощностей шума и помех (SINR)	Тестовое оборудование	> 13 дБ	Высокий уровень ошибок, перебои в передаче данных
Задержка (Latency)	Ping-тест	< 50 мс	Задержки в голосе, сбои в видеосвязи
Скорость загрузки (Downlink)	Speedtest, drive-test	от 10–20 Мбит/с	Долгая загрузка контента
Доля обрывов соединений (Call Drop Rate)	Статистика сети	менее 2 %	Недовольство абонентов, рост жалоб

В докладе представлены статистические данные о качестве работы сети крупного российского оператора мобильной связи с анализом основных причин и мест возникновения ухудшения качества и практических способов их обнаружения и исправления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихвинский В.О., Юрчук А.Б., Терентьев С.В. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.

2. Легков К. Анализ производительности беспроводных сетей нового поколения // Мобильные телекоммуникации. 2012. № 5 (117). С. 12-15.

MOBILE NETWORK QUALITY ANALYSIS

Stolyarov D.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Network quality analysis involves the evaluation of key parameters such as signal strength, latency, throughput, and reliability to assess the overall performance of mobile communication systems. This process combines technical measurements with user experience data to identify issues and develop solutions for improving service quality.

УДК 004.75

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С МАСШТАБИРОВАНИЕМ ТРАФИКА

Алексахин П.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Основные достижения в области теории сетевого исчисления NC (Network Calculus) [1] связаны с анализом ациклических систем массового обслуживания без потерь и существенного изменения объема передаваемых данных, то есть устройств, которые обрабатывают поток данных, оказывают на него влияние и формируют его структуру, но в долгосрочной перспективе не изменяют общий объем данных в системе. В большинстве случаев вычислительные системы нарушают этот принцип и изменяют объем данных в процессе обработки, что делает ограничение на сохранение объема данных в долгосрочной перспективе менее актуальным для телекоммуникационных систем. Такой подход затрудняет применение NC для моделирования реальных распределенных вычислительных систем. Масштабирование передаваемых данных возникает при преобразовании или агрегировании данных внутри сети, например, при облачных/туманных услугах, потоковой передаче видео с перекодированием в медиашлюзах, в мультимедийных системах, сенсорных сетях и др.

В NC предоставление любой сетевой услуги может быть описано с помощью функций $R(t)$ и $E(t)$, где $R(t)$ – объем трафика, поступающего от пользователя в сеть и $E(t)$ – объем трафика к пользователю из сети. Пусть $P(\cdot)$ – не отрицательная и не убывающая функция и $P(0) = 0$, тогда $P(t)$ является кривой обслуживания сетевой услуги, которая для каждого момента времени $t \geq 0$ определяет выходной поток сети:

$$E(t) \geq R(t) \otimes P(t) \qquad (1)$$

где $\otimes$ – обозначает операцию (min,+)-свертки, которая определяется как $x(t) \otimes y(t) = inf_{s:0 \leq s \leq t}\{x(t-s) + y(s)\}$.

Предоставление облачной услуги можно охарактеризовать с помощью модели, показанной на рис. 1.

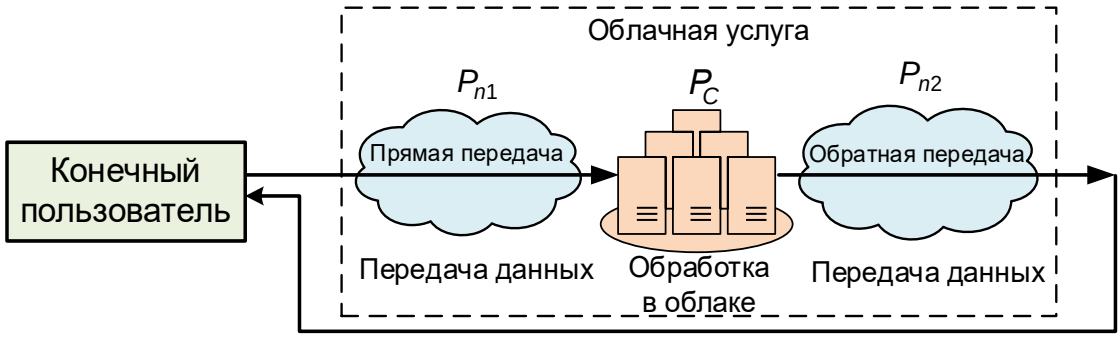


Рис.1. Модель предоставления облачной услуги

Предположим, что прямая передача данных (от пользователя к облаку), облачная услуги и обратная передача данных (от облака к пользователю) соответственно имеют кривые обслуживания $P_{n1}(t)$, $P_C(t)$ и $P_{n2}(t)$. Тогда интегральная кривая обслуживания облачной услуги может быть определен как:

$$P_{e2e}(t) = P_{n1}(t) \otimes P_C(t) \otimes P_{n2}(t) \quad (2)$$

Из теории NC известно, что кривая обслуживания сети, состоящей из последовательных узлов, может быть получена путём свертки кривых обслуживания каждого из этих узлов. Однако в облачных услугах из-за изменения объемов трафика на входе и выходе облака, обусловленного обработкой данных в облаке, операция свертки не может быть применена напрямую. Для решения этой проблемы применяются специальные масштабируемые кривые обслуживания [2], которые позволяют модифицировать модель системы таким образом, чтобы можно было получить сквозную кривую обслуживания с помощью свертки этих кривых.

Используя функцию масштабирования S_{n2c}, учитывающую изменение трафика на входе в облако, кривая обслуживания в сети 1 (прямая передача) может быть преобразована в эквивалентную кривую обслуживания $P_{n1}^S = S_{n2c}(P_{n1})$. Аналогично, для учета изменения объема трафика на выходе из облака кривая обслуживания в сети 2 (обратная передача) с помощью обратной масштабирующей функции S_{c2n}^{-1} может быть преобразована в эквивалентную кривую обслуживания $P_{n2}^S = S_{c2n}^{-1}(P_{n2})$. Теперь кривые обслуживания трафика в обеих сетях и обработки в облаке можно заменить одной интегральной кривой обслуживания облачной услуги $P_{e2e}(t)$ через операцию свертки этих кривых:

$$P_{e2e}(t) = S_{n2c}\big(P_{n1}(t)\big) \otimes P_C(t) \otimes \big(S_{c2n}^{-1}\big(P_{n2}(t)\big)\big) \quad (3)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В., Лысиков А.А. Сетевое исчисление (Network Calculus) и его применение для оценки сетевых характеристик. Монография. – Самара, ПГУТИ, 2019. – 222 с.

2. Fidler M., Schmitt J.B. On the way to a distributed systems calculus: an end-to-end network calculus with data scaling // Proceedings of SIGMetrics/Performance'06, 2006, pp. 287–298.

NETWORK MODEL WITH TRAFFIC SCALING

Aleksakhin P. A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Using network calculus, an expression is obtained for the end-to-end service curve of a cloud service by (min,+)-convolution the traffic service curves when transmitting it in the network in the forward and reverse directions and processing in the cloud, taking into account the scaling of traffic at the input and output of the cloud.

УДК 004.75

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Сазонов А.Д.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В России развитие технологий беспроводной связи во многом ориентировано на внедрение Интернета вещей (IoT), в том числе и в спутниковом сегменте. Различные конкурсы стимулируют создание малогабаритных терминалов для передачи коротких сообщений через спутники, а также разработку помехозащищённых систем для работы в арктических широтах. Концепция спутникового IoT сформулирована достаточно давно, но её практическая реализация требует разработки конкурентоспособных абонентских устройств и обеспечения бесшовной интеграции в общую инфраструктуру IoT.

На рынке спутникового IoT доминируют низкоорбитальные системы Iridium, Globalstar, Orbcomm, «Гонец», однако они ограничены высокой стоимостью абонентских устройств, невозможностью работы от обычных батареек и задержками передачи данных от пары секунд до нескольких часов. Эти недостатки обусловлены использованием проприетарных технологий и делают системы неконкурентоспособными по сравнению с наземными LPWAN и сотовыми сетями. Это формирует потребность в новых низкоорбитальных IoT-системах, обеспечивающих бесшовную интеграцию и доступность сервиса.

Для IoT перспективными технологиями являются LoRa и SNBWAN. Главным показателем является помехоустойчивость, оцениваемая через Eb/N0. Как видно из табл. 1, пороговое отношение Eb/N0 для SNBWAN и LoRaWAN почти одинаково. Широкополосная модуляция LoRa не дает преимущества над узкополосными методами, такими как SNBWAN. Преамбула LoRa увеличивает устойчивость к частотным ошибкам, но снижает пропускную способность, особенно при доплеровских смещениях для спутниковой связи.

Таблица 1

Сравнение систем сигналов по помехоустойчивости

Система/режим	SF/полоса частот	M = 2^k	B - скорость ПД, бит/с	C/N (125 кГц), дБ	C/N (Гц) = E_b/N_0, дБ
LoRa/DR0	12/125 кГц	4096	250	–20	7
LoRa/DR1	11/125 кГц	2048	440	–17,5	7
LoRa/DR2	10/125 кГц	1024	980	–15	6,1
LoRa/DR3	9/125 кГц	512	1760	–12,5	6
LoRa/DR4	8/125 кГц	256	3125	–10	6
LoRa/DR5	7/125 кГц	128	5470	–7,5	6,1
SNBWAN/ нисходящая линия	DBPSK	2	122, 244, 488, 976, 1953, 3906, 7812, 15625, 31250, 62500		+6,25 (всех скоростей)
SNBWAN/ восходящая линия	4FSK	4	122, 244, 488, 976, 1953, 3906, 7812, 15625, 31250, 62500		+6,3 (всех скоростей)

С учётом быстрого роста рынка IoT и требований к бесшовной интеграции с наземными сетями, технологии LoRa/LoRaWAN находят практическое применение в низкоорбитальных спутниковых проектах, таких как Сфера, Норби, Xingyun, AmbaSat-1 и др, демонстрируя экспериментально апробированные решения для спутникового IoT, что отражено в табл. 2.

Таблица 2

Спутниковые системы и КА с целевой функцией IoT

Спутник (страна)	Орбитальная группировка	Частоты абон. радиолиний	Основные сведения
Сфера (Россия)	264 КА Наклонные орбиты 750 км Масса КА 50 кг САС 5 лет	Диапазон 868/915 МГц, S-диапазон Фидерная линия С	В 2024 году был запуск демо спутников. Спутники выполняют обработку и регенерацию данных, имеют многолучевые антенны, используют технологию LoRa/LoRaWAN. Первый этап программы включает 132 КА.
Норби (Россия)	Экспериментальный КА Размерность 6U САС 3 года	436,7 МГц	Запущен в сентябре 2020 г. для экспериментальных задач. Управление выполняется с использованием LoRa/LoRaWAN. В 2023 г. запущен КА «Норби 2» для отработки технологии LoRa.
Xingyun (Китай)	80КА Масса 45 кг Орбита 570 км	L-диапазон (экспериментальный КА)	В 2020 г запущены 2 экспериментальных КА. Группировка из 18 КА создана в 2022 г.. В 2023 г. создана полная группировка из 18 КА.
AmbaSat-1 (Великобритания)	Учебный КА Размерность 3U Орбита 250 км САС 3 месяца	ISM (868/915 МГц)	Учебный набор для КА. Используется модуль LoRa/LoRaWAN с SF = 6–12. Используется наземная сеть LoRa Things Network.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анпилогов В. Р. Системы спутникового «Интернета вещей» для бесшовной сети // Беспроводные технологии, 2021, №3-4, с. 35-39.

2. Эйдус А.Г. Анализ действующих негеостационарных спутниковых систем на рынке M2M/IOT и оценка коммерческой перспективности планируемых многоспутниковых систем // Технологии и средства связи, 2017, №6, с. 20-27.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SATELLITE INTERNET OF THINGS SYSTEMS

Sazonov A.D.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Considering the rapid growth of the IoT market and the need for seamless integration with terrestrial networks, LoRa/LoRaWAN technologies are being actively deployed in low-Earth orbit IoT projects such as Sfera, Norby, Xingyun, and AmbaSat-1, demonstrating experimentally validated satellite IoT solutions.

УДК 621.391

СЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА SASE

Марыков М.В., Росляков А.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Сервис безопасности сетевого периметра SASE (Secure Access Service Edge) – это новая облачная архитектура, предназначенная для оптимизации доступа к глобальной сети, повышения безопасности, увеличения производительности и сокращения количества поставщиков облачных услуг. Подход, реализованный в SASE, объединяет сетевые функции и функции безопасности в единую облачную службу, которая обеспечивает упрощенное развертывание глобальных сетей, повышенные эффективность вычислений и информационную безопасность, а также обеспечение необходимой пропускной способности сети для конкретных приложений пользователей.

Ключевыми сетевыми функциями архитектуры SASE являются оптимизация WAN, сети доставки контента CDN, кэширование данных, программно-конфигурируемые глобальные сети SD-WAN, выделение необходимой полосы пропускания, сеть как услуга NaaS и агрегация полосы пропускания (рис. 1).

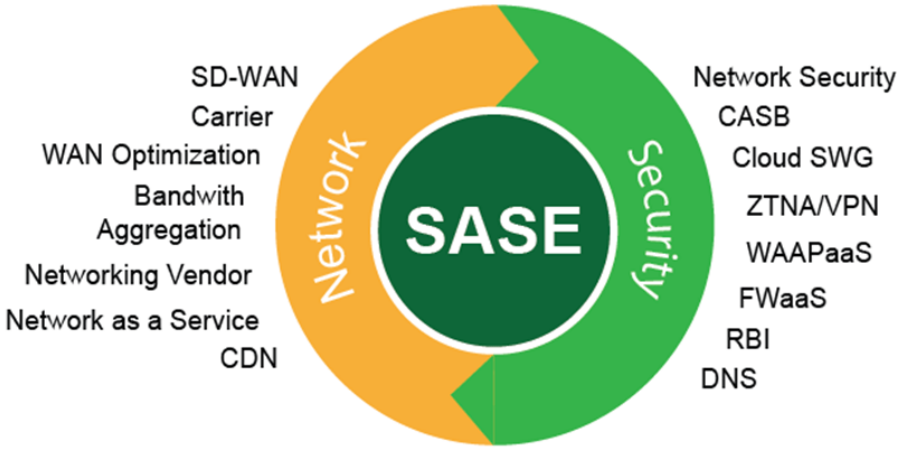


Рис. 1. Архитектура SASE

Ключевые функции безопасности, предоставляемые SASE включают:

- межсетевой экран как услуга FWaaS (Firewall-as-a-Service) – гибкий облачный межсетевой экран, предоставляемый как услуга, помогающий защитить периферийные устройства клиентов;
- брокер безопасности доступа в облако CASB (Cloud Access Security Broker) – помогает компаниям обеспечить согласованное применение своих политик безопасности;
- защищенный шлюз веб-доступа SWG (Secure Web Gateway) – объединение SWG с другими службами сетевой безопасности улучшает

управляемость и позволяет использовать более унифицированный набор политик безопасности;

- доступ к сети с нулевым доверием ZTNA (Zero Trust Network Access) – предоставляет компаниям детальный контроль за доступом пользователей к корпоративным приложениям и сервисам.

Кроме того функции безопасности архитектуры SASE включают обеспечение шифрования данных, многофакторную аутентификацию, защиту от угроз, предотвращение утечек данных DLP, службу доменных имен DNS, виртуальные частные сети VPN.

Сетевые функции и функции безопасности SASE отделены от базовой сетевой инфраструктуры, создавая глобальную сеть, ориентированную на облако, определяемую и управляемую внешним программным обеспечением.

С помощью SASE клиенты могут отслеживать состояние сети и устанавливать политики в соответствии со своими конкретными требованиями услуг и приложений. Поскольку трафик из интернета сначала проходит через сеть провайдера, платформа SASE может обнаруживать опасный трафик и устранить его до того, как он достигнет корпоративной сети, таким образом отразить различные виды атаки.

Основными преимуществами использования SASE являются:

- облегчение гибридной работы за счет обеспечения единообразного уровня безопасности и производительности для всех пользователей, локаций и устройств;
- упрощение облачной инфраструктуры за счет объединения сетевых технологий и безопасности на единой платформе;
- улучшение масштабируемости и гибкости предоставления услуг благодаря облачной платформе, которая адаптируется к меняющимся потребностям пользователей;
- укрепление информационной безопасности благодаря проверке в реальном времени и применению адаптивных политик к предотвращению угроз.

Таким образом, технология SASE позволит компаниям быстрее реагировать на сбои и атаки и минимизировать их влияние на бизнес компаний, использовать преимущества новых технологий, таких как периферийные/граничные/облачные вычисления, сети 5G и машинное обучение/искусственный интеллект.

SASE ARCHITECTURE

Marykov M.V., Roslyakov A.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The SASE (Secure Access Service Edge) technology is a solution designed to optimize network access, enhance security, increase performance, and reduce the number of vendors and devices. SASE will enable companies to respond more quickly to disruptions and crises, minimizing their impact on the business, while also taking advantage of new technologies such as edge/cloud computing, 5G network and ML/AI.

УДК 004.75

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ТРАФИКА В СЕТЯХ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КО ВРЕМЕНИ TSN

Михайлов В.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Формирование трафика является важным этапом в технологии Time-Sensitive Networking (TSN), призванным обеспечить детерминированную передачу данных поверх стандартного Ethernet. В условиях конвергентных сетей, где критический трафик с жёсткими требованиями к задержке и джиттеру сосуществует с фоновой нагрузкой «Best Effort», ключевой задачей становится выбор оптимального механизма приоритизации и планирования. Сравнительный анализ различных формирователей трафика позволяет выявить их сильные и слабые стороны для применения в конкретных сценариях.

Наиболее строгий подход демонстрирует TAS (Time-Aware Shaper). Он предназначен для обработки строго периодического Time-Triggered (TT) трафика, характерного для задач промышленной автоматизации с экстремальными требованиями к детерминизму. TAS работает на основе глобальной синхронизации времени и заранее рассчитанного статического расписания, формируя строго определённые временные окна для передачи разного трафика. Это обеспечивает наивысший уровень предсказуемости, однако делает сеть негибкой, сложной в масштабировании и управлении, требуя централизованного планирования для всех узлов.

Альтернативой для синхронных потоков является Credit-Based Shaper (CBS), применяемый для трафика Audio-Video Bridging (AVB). Его механизм, основанный на концепции виртуальных кредитов, эффективно ограничивает среднюю скорость передачи потока, не требуя глобального расписания. Однако поведение CBS зависит от фазы относительно других процессов в сети, что существенно усложняет расчёт гарантированной максимальной задержки и часто приводит к её пессимистичным оценкам, а также требует синхронизации для данных расчётов.

Ответом на ограничения синхронных подходов стало появление Asynchronous Traffic Shaper (ATS), стандартизованного в IEEE 802.1Qcr-2020. Этот механизм предназначен для критического трафика, не являющегося строго периодическим, параметры которого неизвестны глобально или который нецелесообразно вписывать в жёсткое расписание TAS. ATS работает асинхронно на каждом узле, используя лишь его локальные часы. Ключевой принцип его работы — вычисление виртуального времени отправки (VFT) для каждого пакета. Это время вычисляется по формуле: $VFT_k = max(Current_time, VFT_{k-1}) + L_k/R$, где VFT_k — виртуальное время доступности пакета, $Current_time$ - текущее локальное время узла, VFT_{k-1} — VFT предыдущего пакета в очереди, L_k— длина текущего пакета, а R — заданная скорость формирования. Пакет становится «кандидатом» на передачу только

когда локальное время узла достигает его VFT. Это простое правило позволяет ATS эффективно регулировать скорость, сглаживать пульсации и гарантировать максимальную задержку в очереди на каждом интерфейсе, определяемую как L_{max}, где L_{max} — максимальный размер кадра в потоке.

Проведённый сравнительный анализ выявляет ключевые различия этих механизмов. TAS незаменим для систем с экстремальными требованиями к джиттеру, но требует глобальной синхронизации и сложного планирования. CBS эффективен для медиапотоков, но его анализ сложен. ATS, в свою очередь, не требует ни глобальной синхронизации, ни глобального расписания, предлагая простоту конфигурации, высокую гибкость и превосходную масштабируемость для динамических сетей. Его главный компромисс — он гарантирует максимальную задержку, но не минимальный джиттер, в чём уступает TAS.

Важно отметить, что эти механизмы не исключают, а дополняют друг друга в рамках единой инфраструктуры TSN. ATS может использоваться совместно с TAS, формируя критический не-TT трафик в промежутках между окнами, выделенными для TT-потоков, или даже заменять CBS для потоков AVB, упрощая конфигурацию. Таким образом, ATS заполняет важнейшую нишу, обеспечивая практичный и эффективный путь к внедрению детерминированных сетей в сценариях, где глобальная синхронизация и централизованное планирование непрактичны или не требуются, например, в системах видеонаблюдения, гибких производственных линиях и автомобильных сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В., Герасимов В.В. Анализ стандартных механизмов обеспечения качества обслуживания трафика в чувствительных ко времени сетях TSN // Инфокоммуникационные технологии. 2024. Т. 22. № 2 (86). С. 27-34.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT TRAFFIC SHAPERS IN TIME-SENSITIVE NETWORKING

Mikhailov V.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Time-Sensitive Networking (TSN) employs distinct traffic shapers to ensure deterministic data delivery. The Time-Aware Shaper (TAS) offers the highest predictability for periodic traffic but requires complex, global scheduling. The Credit-Based Shaper (CBS) is effective for audio-video streams but yields pessimistic delay bounds. The Asynchronous Traffic Shaper (ATS) provides a flexible, scalable alternative without global synchronization, guaranteeing maximum latency for critical non-periodic flows.

УДК 004.75

СЕТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ CPN

Росляков А.В., Алексахин П.А., Михайлов В.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Сети вычислительной мощности CPN (Computing Power Network) представляют собой новую парадигму в области распределенных вычислений и сетевых технологий, которая призвана совершить революцию в способах доставки и потребления вычислительных ресурсов. Концептуально CPN ставит своей целью создание глобальной, унифицированной и интеллектуальной инфраструктуры, способной распределять, агрегировать и предоставлять вычислительную мощность по запросу с такой же легкостью, с какой современные энергосистемы распределяют электричество. Эта аналогия с «энергосетью для вычислений» является ключевой для понимания сути CPN. Если пользователю не нужно строить собственную электростанцию для питания каждого устройства, а достаточно подключиться к розетке и получить необходимое количество киловатт-часов, то в идеале CPN должна позволить также просто «включиться» в глобальную вычислительную сеть и получить доступ к необходимым виртуальным машинам, гигабайтам памяти или терабайтам данных без инвестиций в собственную дорогостоящую и не всегда загруженную вычислительную инфраструктуру.

Движущей силой развития CPN является взрывной рост спроса на ресурсоемкие вычисления со стороны таких технологий, как искусственный интеллект, машинное обучение, большие данные, виртуальная/дополненная реальности, беспилотный транспорт, промышленный интернет вещей и др. Традиционные централизованные облачные дата-центры, несмотря на свою мощь, часто физически удалены от конечных пользователей и устройств, что приводит к неприемлемо высоким задержкам для приложений реального времени. С другой стороны, туманные/периферийные/граничные вычисления имеют малую задержку, но часто не обладают нужной вычислительной мощностью.

Функциональная архитектура CPN (рис. 1) представлена в Рекомендации МСЭ-Т ITU-T Y.2501 [1] и включает четыре взаимосвязанных уровня. Уровень услуг является внешним интерфейсом для пользователей, через который осуществляется подача запросов, определение требований к качеству обслуживания и безопасности, а также мониторинг и тарификация. Уровень управления выполняет функции интеллектуального центра: обрабатывает запросы, трансформирует требования пользователей в технические параметры. Уровень ресурсов составляет физическую основу CPN, включая облачные платформы, вычислительные узлы, пограничные системы, сетевое оборудование и системы хранения данных. Уровень оркестровки и эксплуатационного управления обеспечивает техническую координацию: развертывание задач, масштабирование, управление жизненным циклом услуг, отказоустойчивость и

безопасность. Взаимодействие между уровнями организовано по принципу нисходящей и восходящей передачи информации, что позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям, рационально распределять ресурсы и гарантировать заданный уровень обслуживания.

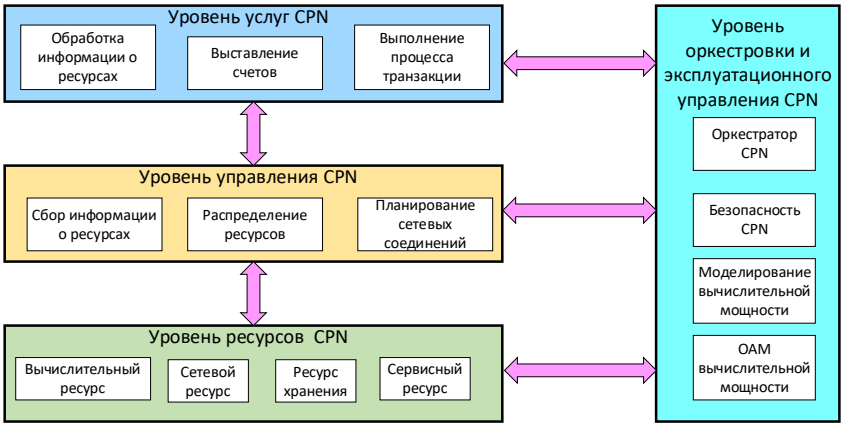


Рис.1. Функциональная архитектура CPN

Следует акцентировать, что CPN не является полным отрицанием облачных или периферийных вычислений, а представляет собой их естественное развитие и интеграцию в единую цельную систему. Она добавляет критически важный элемент – интеллектуальную маршрутизацию и оркестрацию не только данных, но и самой вычислительной работы.

В докладе дан анализ общих принципов построения, структуры и функциональной архитектуры сети вычислительных мощностей, и определено, что для полноценного функционирования CPN требуется развитая сетевая инфраструктура, прежде всего на базе технологий программно-конфигурируемых сетей SDN и платформ управления сетью с использованием искусственного интеллекта. CPN представляет собой мощную и перспективную модель распределённых вычислений, способную значительно расширить доступ к вычислительным ресурсам и повысить эффективность их использования, но при этом требует продуманных решений в сфере безопасности, стандартизации и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommendation ITU-T Y.2501. Computing Power Network – framework and architecture. 2021. 18 p.

COMPUTING POWER NETWORK (CPN)

Roslyakov A.V., Aleksakhin P.A., Mikhailov V.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The concept of the Computing Power Network (CPN) is considered – a new paradigm of distributed computing designed to distribute, manage and optimally use computing resources at the request of users.

УДК 621.391

СТОХАСТИЧЕСКОЕ СЕТЕВОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ CNC

Денесюк Н.И., Усачева М.М.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Стохастическое сетевое исчисление SNC (Stochastic Network Calculus) – это математический аппарат, разработанный для анализа сетей передачи данных с учетом вероятностных характеристик сетевого трафика и процессов его обслуживания в узлах сети [1]. Детерминированный вариант сетевого исчисления DNC (Deterministic Network Calculus), развивавшийся с начала 1990-х годов, позволяет получать жесткие гарантии для наихудшего случая, но зачастую приводит к завышенным требованиям к ресурсам и не учитывает выгоды статистического мультиплексирования. Это обусловило необходимость развития SNC, которое учитывает вероятностный характер трафика и обслуживания, позволяя допускать незначительные нарушения гарантий в обмен на существенную экономию ресурсов.

Теоретической основой SNC как и DNC является (min,+)-алгебра, в которой операции сложения и умножения заменяются на взятие инфимума и сложение соответственно, что позволяет выражать каскадную обработку трафика через сеть узлов с помощью операции свертки. В вероятностном контексте ключевыми характеристиками сети становятся вероятностные кривые поступления трафика и кривые обслуживания узлов.

Большинство существующих работ в области SNC сосредоточены на получении вероятностных оценок для одного узла сети. Однако при анализе сквозных характеристик потока, проходящего через несколько узлов, простое суммирование оценок для отдельных узлов приводит к быстрой деградации результирующих оценок, которые масштабируются как $O(H^3)$, где H – количество узлов. Это делает такой подход непрактичным для крупных сетей. Перспективным направлением является развитие вероятностного аналога (min,+)-алгебры, используемой в детерминированном исчислении, и, в частности, вывод понятия сетевой кривой обслуживания.

Вероятностная кривая обслуживания в SNC определяется как функция, задающая нижнюю границу объёма обслуживания, предоставляемого сетевым узлом, в вероятностном смысле. Для случайного процесса входящего трафика $A(t)$ и соответствующего исходящего трафика $D(t)$ функция $S(t)$ является вероятностной кривой обслуживания сетевого узла, если для всех $t \geq 0$ и любого $\sigma > 0$ выполняется условие [2]:

$$P(D(t) < A(t) * [S - \sigma]_+(t)) \leq \varepsilon(\sigma),$$

где $[x]_+ = \max(x,0)$, символ * обозначает свертку в (min,+)-алгебре, ε – заданная вероятность превышения σ вероятностной кривой обслуживания $S(t)$.

Сетевая кривая обслуживания сети может быть выражена через свертку кривых обслуживания отдельных сетевых узлов, с введением малых поправок на скорость обслуживания и шаг дискретизации времени. Полученная сетевая

кривая позволяет вычислять вероятностные сквозные границы для задержки, загрузки буфера и выходного трафика.

Преимущество такого подхода выражается в сравнении с методом суммирования одноузловых оценок на примере трафика с экспоненциально ограниченной пачечностью (берстностью) EBB (Exponential Bounded Burstiness). EBB-модель, включающая такие практически важные типы трафика, как мультиплексированный регулируемый трафик, марковские процессы и пуассоновский трафик, позволяет получать замкнутые аналитические выражения для оценок. Анализ показывает, что использование сетевой кривой обслуживания приводит к сквозным оценкам задержки, которые масштабируются как $O(H \log H)$, в то время как метод суммирования оценок отдельных узлов дает оценку $O(H^3)$. Такое улучшение делает SNC с сетевыми кривыми обслуживания практичным инструментом для анализа крупных сетей (IoT, SDN, 5G/6G), в которых число узлов может принимать значение несколтких сотен или даже тысяч.

Масштабируемость оценок сквозной задержки и загрузки буфера, обеспечиваемая сетевыми кривыми обслуживания в вероятностной постановке, демонстрирует принципиальное преимущество перед методами, основанными на суммировании одноузловых границ. Установленный порядок роста $O(H \log H)$ по сравнению с $O(H^3)$ подтверждает возможность эффективного анализа крупномасштабных сетей без потери точности оценок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В., Лысиков А.А. Применение теории стохастических сетевых исчислений к анализу характеристик VPN // T-Comm. 2013. № 7. С. 106-108.

2. Ciucu F., Burchard A., Liebeherr J. Scaling properties of statistical end-to-end bounds in the network calculus // IEEE Transactions on Information Theory. 2006. V.52. №6. P. 2300-2312.

STOCHASTIC NETWORK CALCULATION CNC

Denesyuk N.I., Roslyakov A.V., Usacheva M.M.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The development of stochastic network calculus is considered through the introduction of the concept of a probabilistic network service curve. The proposed approach makes it possible to obtain end-to-end guarantees for multimode networks, avoiding the cumulative accumulation of errors when analyzing each node separately. For traffic with Exponential Bounded Burstiness (EBB), an improvement in the scalability of delay estimates from $O(H^3)$ to $O(H \log H)$, where H is the number of nodes, has been proven. The theoretical results are confirmed by analyzing the output characteristics and numerical modeling on Markov flows. The work provides a theoretical basis for designing networks with statistical QoS guarantees.

УДК 004.89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В МОНИТОРИНГЕ СЕТИ

Чемнаков А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Мы живём в мире, где Интернет стал неотъемлемой частью нашей жизни, и с появлением искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) спрос на высокую сетевую пропускную способность продолжает расти. По мере экспоненциального роста сетей классические топологии и архитектуры с трудом поспевают за быстро меняющимися требованиями современной ИТ-инфраструктуры. Управление сетями становится всё сложнее из-за огромного количества сетевой инфраструктуры и транспортных соединений. Преимущества внедрения технологий ИИ/МО в сетях становятся всё более очевидными по мере того, как сети становятся всё более масштабными. ИИ/МО улучшают диагностику и устранение неполадок, ускоряют решение проблем и предоставляют рекомендации по их устранению. Они предоставляют критически важную информацию для улучшения пользовательского опыта и взаимодействия с услугами. ИИ/МО можно использовать для реагирования на проблемы в режиме реального времени, а также для прогнозирования проблем до их возникновения. Они также расширяют возможности аналитики безопасности, улучшая реагирование на угрозы и их устранение. На данный момент оператор связи обладает большим количеством данных, снимаемых с сетевой инфраструктуры, но большая часть этих данных слабо структурирована, а на работу с этими данными инженеры, тратя большое количество времени.

Сетевые инженеры могут получать ценную информацию с помощью аналитики и ИИ/МО, которые позволяют им управлять более надежными процессами автоматизации, снижая стоимость сетевых операций и обеспечивая пользователям оптимальное взаимодействие. Эти технологии помогают автоматизировать [1]:

1. Развертывание и управление политиками на сети.
2. Интеграцию решений безопасности с нулевым доверием для обеспечения согласованности сети.
3. Идентификацию и классификацию устройств в сети.

Основное преимущество МО в мониторинге сетей – это структуризация и систематизация данных сетевой инфраструктуры, например данные по сетевым стыкам между маршрутизаторами или состоянию резервирования, так МО позволит анализировать сетевое состояние и вовремя выявлять аварии или потенциальные аварии. Использование МО и ИИ позволит сократить время инженера на анализ данных сетевой инфраструктуры, предоставляя предварительную аналитику, на основе которой инженер может выполнить необходимые манипуляции для решения проблемы.

Реальное применение ИИ и МО в мониторинге сети:

1. Мониторинг и оптимизация производительности. Алгоритмы ИИ и МО могут анализировать показатели производительности сети, такие как задержка, джиттер и потеря пакетов, для выявления узких мест и оптимизации конфигурации сети для повышения производительности.
2. Планирование пропускной способности. Инструменты на базе ИИ могут прогнозировать будущие потребности в сетевом трафике, позволяя организациям заблаговременно планировать увеличение пропускной способности и предотвращать снижение производительности.
3. Обнаружение угроз безопасности и реагирование на них. Алгоритмы МО могут эффективно обнаруживать и реагировать на широкий спектр киберугроз, включая вредоносное ПО, DDoS-атаки и внутренние угрозы. Например, Центр управления безопасностью (SOC) Splunk использует ИИ и МО для поиска и реагирования на угрозы, автоматизируя операции по обеспечению безопасности и демонстрируя шаг к более автономной безопасности.
4. Устранение неполадок сети и управление инцидентами: ИИ может автоматизировать процесс определения первопричины сетевых проблем, значительно сокращая время, необходимое для устранения неполадок и их решения. Автоматизация ИТ-операций: ИИ и МО могут автоматизировать многие рутинные задачи ИТ-операций, такие как подготовка сетевых устройств, настройка брандмауэров и управление сетевым доступом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В., Чемнаков А.С. Использование машинного обучения для устранения угроз в сети оператора связи // Материалы XXXII Российской научно-технической конференции «Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи». – Самара: ПГУТИ, 2025. С. 80-81.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN NETWORK MONITORING

Chemnakov A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The Internet plays a key role in modern society, especially with the development of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML). Classic network structures are experiencing challenges due to the increasing load and demands of modern infrastructures. AI/ML technology helps diagnose and troubleshoot failures, improve network security and performance. Key benefits include automated policy deployment, integration of security solutions, and device identification. Real-world use cases demonstrate the effectiveness of AI and ML algorithms in monitoring, performance optimization, capacity planning, and security threat detection.

УДК 004.75

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Сутягина Л.Н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последние годы технологии туманных вычислений (fog computing) приобретают всё большую популярность благодаря своей способности эффективно обрабатывать и хранить данные непосредственно на периферийных устройствах, близких к источникам данных, таких как сенсоры и устройства Интернета вещей (IoT). Предлагаемая в [1] модель передачи данных, позволяет значительно снизить задержки при их передаче и улучшить качество обслуживания в реальном времени, что критично для множества современных приложений.

Несмотря на многочисленные преимущества использования системы туманных вычислений, одной из основных проблем остаётся управление задержками в процессе передачи данных, особенно при взаимодействии с облачными вычислениями, где данные обрабатываются централизованно.

Возникающие задержки в передаче данных могут существенно влиять на производительность и надёжность системы, чаще всего в условиях, когда требуется быстрый отклик, например, в приложениях с высоким требованием к качеству обслуживания (QoS). В этом контексте важно анализировать не только задержки, связанные с физической передачей данных через сети, но и задержки, возникающие из-за обработки данных на разных уровнях – от сенсоров до облачных серверов. Также необходимо учитывать влияние сетевой инфраструктуры, топологии сети и алгоритмов маршрутизации и балансировки нагрузки, используемых в туманных системах [2].

Эксперимент проводился в рамках моделирования задержек при передаче данных в системе туманных вычислений с целью анализа влияния разных типов сетевых сценариев на общую задержку. Результаты экспериментального моделирования сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты моделирования

Сценарий сети	Задержка сенсоров, мс	Задержка туманных вычислений, мс	Задержка облака, мс	Общая задержка, мс
Высокоскоростная сеть	2	10	50	62
Среднескоростная сеть	5	20	100	125
Низкоскоростная сеть	10	30	150	190

Эксперимент включал три сценария сети: высокоскоростную, среднескоростную и низкоскоростную, с измерением задержек на уровнях

сенсоров, туманных вычислений и облака. Условия включали передачу данных с различных устройств IoT через сети с разной пропускной способностью, что позволяло оценить производительность системы в реальных условиях.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что задержки на различных уровнях туманных вычислений зависят от скорости сети и значительно увеличиваются при снижении пропускной способности канала. Высокоскоростные сети обеспечивают минимальные задержки, в то время как в условиях низкоскоростных сетей задержки на всех уровнях – от сенсоров до облака – существенно возрастают, что негативно сказывается на общей производительности системы.

В условиях реальных приложений, таких как мониторинг здоровья или автономные транспортные средства, где требуется минимизация задержек, особое внимание стоит уделить оптимизации передачи данных на каждом уровне, используя адаптивные алгоритмы маршрутизации и балансировки нагрузки, которые реализованы в [2].

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку гибридных решений, эффективно использующих ресурсы как туманных, так и облачных вычислений, что позволит улучшить качество обслуживания в изменяющихся условиях сетевой инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157-168.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

ANALYSIS OF DATA TRANSFER DELAYS IN THE FOG COMPUTING SYSTEM

Sutyagina L.N.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This article presents a simulation-based analysis of data transmission delays in fog computing systems under different network conditions. The results demonstrate that total latency increases significantly as network speed decreases, with the cloud layer contributing the most to overall delay. The study highlights the importance of optimizing data routing and resource allocation to maintain low-latency performance in real-time IoT applications.

УДК 622.276

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Перепеченова Д.И., Золкин А.Л.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Нефтегазовая отрасль, являясь одной из наиболее капиталоемких и технологически сложных, сталкивается с необходимостью повышения эффективности на фоне растущих экологических требований и истощения традиционных месторождений. В условиях энергоперехода, ужесточения экологических норм и глобальной конкуренции, компании вынуждены искать инновационные решения для оптимизации процессов, снижения затрат и минимизации рисков. Генеративный искусственный интеллект (ГИИ), способный создавать новые данные, проекты и прогнозы, становится ключевым инструментом для решения этих задач.

Как отмечает Зарипов С.С. (2024) в своей работе «Использование генеративного искусственного интеллекта и суперкомпьютеров для исследования недр нефтегазовых месторождений в России», ГИИ становится незаменимым инструментом для решения сложных задач, связанных с моделированием залежей углеводородов и прогнозированием их поведения [1].

В настоящее время ГИИ включает несколько ключевых технологий, таких как GAN (Generative Adversarial Networks) и VAEs (Variational Autoencoders) для создания синтетических данных и моделирования геологических структур, трансформеры для автоматизации отчетности и анализа текстовых данных, а также генеративный дизайн для оптимизации конфигурации скважин с учетом множества параметров. Эти методы уже тестируются на реальных данных, включая сейсмические съемки, исторические данные по оборудованию и параметры бурения, демонстрируя значительный потенциал для отрасли.

По мнению Пшеничной С.С. (2024), современное развитие технологий искусственного интеллекта оказывает значительное влияние на все аспекты нефтегазовой промышленности, включая процессы добычи, переработки и управления, что приводит к необходимости формирования новых компетенций у работников отрасли [4].

Согласно прогнозам [2,3,4], в ближайшем десятилетии ожидается значительный рост рынка ГИИ в нефтегазовом секторе России как по базовому, так и по оптимистичному сценарию. К 2030 году объем рынка может превысить 1 триллион рублей, что свидетельствует о высоком потенциале этих технологий для отрасли.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что перспективы применения ГИИ в нефтегазовой отрасли открывают новую эру технологического развития, связанную с революционными изменениями во всех ключевых процессах. От геологоразведки и проектирования скважин до

прогнозирования состояния оборудования и минимизации экологических рисков – ГИИ становится мощным катализатором трансформации отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарипов С.С. «Использование генеративного искусственного интеллекта и суперкомпьютеров для исследования недр нефтегазовых месторождений в России» [Электронный ресурс] Режим доступа — https://www.вестник-науки.рф/archiv/journal-7-76-1.pdf#page=760 (Дата обращения: 13.08.2025)

2. Минаков А.В., Эриашвили Н.Д. «Внедрение технологий искусственного интеллекта в реальный сектор экономики» // Аудиторские ведомости. 2024. №2. [Электронный ресурс] Режим доступа - https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta-v-realnom-sektore-ekonomiki (Дата обращения: 06.07.2025)

3. Еремин Н.А., Селенгинский Д.А. «О возможностях применения методов искусственного интеллекта в решении нефтегазовых задач» [Электронный ресурс] Режим доступа — https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnostyah-primeneniya-metodov-iskusstvennogo-intellekta-v-reshenii-neftegazovyh-zadach/viewer (Дата обращения: 10.08.2025)

4. Пшеничная С.С. «Формирование новых компетенций работников нефтегазовой отрасли в эпоху развития технологий искусственного интеллекта» // Финансовые рынки и банки. 2024. №12. [Электронный ресурс] Режим доступа — https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-novyh-kompetentsiy-rabotnikov-neftegazovoy-otrasli-v-epohu-razvitiya-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta (Дата обращения: 15.08.2025)

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Perepechenova D.I., Zolkin A.L.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. This article examines the potential applications of generative artificial intelligence (GAI) in the oil and gas industry, which are linked to the transformation of key processes such as geological exploration, well planning, equipment condition forecasting, and environmental risk mitigation. GAI opens up opportunities for creating synthetic data, optimizing production processes, and automating document flow, thereby reducing costs and improving the accuracy of decision-making. The implementation of GenAI improves planning, prevents accidents, predicts reservoir properties (porosity, permeability), and optimizes drilling using well logging, seismic, and historical data.

УДК 004.891

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ НА ПРИНЦИПАХ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Золкин А.Л.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современное промышленное предприятие представляет собой сложную экосистему, генерирующую колоссальные объемы данных на каждом этапе жизненного цикла продукции: от проектирования и снабжения до производства, контроля качества, логистики и технического обслуживания. Однако зачастую эти данные существуют в изолированных «информационных силосах» (ERP, MES, PLM, SCADA, CMMS), что ограничивает возможности для их комплексного анализа и извлечения практической пользы. Традиционные реляционные базы данных, идеальные для структурированного хранения транзакций, оказываются неспособными эффективно отражать семантические связи между разнородными данными и предоставлять ответы на сложные вопросы, требующие контекстуального понимания.

Выходом из этой ситуации является переход от управления данными к управлению знаниями. Реляционная база знаний (РБЗ), построенная на принципах семантических технологий и онтологий, предлагает принципиально новый подход. Она позволяет не просто хранить информацию, а моделировать сложные взаимосвязи между сущностями производственного мира (оборудованием, сотрудниками, материалами, операциями, дефектами), преобразуя сырые данные в структурированные, машиночитаемые знания.

Цель исследования – проанализировать потенциал применения принципов реляционной базы знаний для оптимизации производственных процессов на промышленном предприятии. На основе анализа исследований зарубежных ученых будут рассмотрены теоретические основы, практические методы внедрения и конкретные выгоды, такие как повышение гибкости производства, снижение простоев, оптимизация цепочек поставок и внедрение практик непрерывного улучшения.

Анализ исследований [1-5] убедительно доказывает, что данный подход обеспечивает синергетический эффект. Он позволяет уменьшить информационные барьеры между подразделениями, превращая разрозненные данные в мощный актив – связанные знания. Это открывает путь к созданию по-настоящему «умного», адаптивного, устойчивого и самооптимизирующегося производства, способного успешно конкурировать в условиях четвертой промышленной революции (Industry 4.0). Внедрение РБЗ – это сложный и итеративный процесс, требующий не только технологических компетенций, но и организационных изменений. Однако долгосрочные выгоды в виде значительного роста операционной эффективности, снижения затрат и повышения гибкости многократно окупают первоначальные инвестиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee, J., Cameron, I., & Hassall, M. (2021). A Semantic Data Integration Approach for Smart Manufacturing: Enhancing Interoperability in Heterogeneous Systems. Journal of Industrial Information Integration, 24, 100220.

2. Ameri, F., Sabbagh, R., & Barton, K. (2019). Ontology-Based Modeling and Integration of Digital Twins for Smart Manufacturing. Procedia Manufacturing, 38, 518-525.

3. Zhou, G., Zhang, C., & Li, Z. (2020). Knowledge-driven supply chain resilience: A semantic-based approach for disruptive event management. Computers & Industrial Engineering, 149, 106784.

4. Dalmaris, P., Tsui, E., & Hall, W. (2017). A framework for the improvement of knowledge-intensive processes based on the analysis of knowledge flows. Knowledge Management Research & Practice, 15(2), 254-267.

5. Maleki, E., Belkadi, F., & Bernard, A. (2022). *A Knowledge-Based and Machine-Learning Hybrid Approach for Predictive Maintenance in Industry 4.0*. Journal of Intelligent Manufacturing, 33(5), 1407-1426.

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES AT AN ENTERPRISE BASED ON THE PRINCIPLES OF A RELATIONAL KNOWLEDGE BASE

Zolkin A.L.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. Optimizing production processes using a relational knowledge base represents more than just a technological upgrade, but a strategic shift in enterprise management philosophy. This is a shift from reactive problem-solving to proactive and prescriptive management based on a deep, semantic understanding of all the relationships in the production system.

УДК 004.03

ИНТЕГРАЦИЯ SDR И SDN В СЕТЯХ 5G

Мамошина Ю.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Переход к 5G ставит высокие требования к гибкости, масштабируемости, быстрому внедрению сервисов и эффективному использованию спектра [1].

Интеграция Software-Defined Radio (SDR) и Software-Defined Networking (SDN) представляет собой перспективный подход для создания программно-определяемой, управляемой и динамично перенастраиваемой сети радиодоступа и транспортного уровня.

SDR (программно-определяемое радио) – это радиосистема, в которой как можно большая часть функций, традиционно реализуемых аппаратно (модуляция/демодуляция, фильтрация, кодирование, обработка сигналов и т.д.), выполнена в виде программного обеспечения на универсальной или гибридной аппаратной платформе.

SDN (программно-определяемые сети) – сетевая архитектура, в которой логика управления сетью (control plane) отделена от устройств, выполняющих пересылку трафика (data plane). Управление централизовано или логически централизовано через контроллеры, а взаимодействие с устройствами и приложениями происходит через программные интерфейсы.

Преимущества интеграции SDR и SDN в сети связи пятого поколения:

- полноценная программируемость (от радиочастот до приложений);
- быстрая адаптация под новые сервисы;
- оптимизация спектральной эффективности и управление интерференцией в реальном времени;
- повышенная автономность сетей.

Процесс построения сетевой среды состоит из двух частей: рассмотрение спектра, а затем пропускной способности.

Уровень SDR содержит все устройства, которые могут получить доступ к радио.

Будущее мобильных телефонов будет связано с USRP, что означает функцию прямого сканирования радиосигнала, которая может отслеживать использование окружающего спектра. Поскольку SDR имеет архитектуру, ориентированную на терминал, он может использоваться только тогда, когда частотный спектр может использоваться «дырой» в спектре и близлежащими помехами, и он не может изменить использование спектра. Это означает, что он не может осуществлять эффективное планирование и переключение каналов, поскольку уровень администрирования должен иметь централизованный узел. Компонент администрирования используется для определения диапазона частот или принятия мер по предотвращению помех. Контроллер кросс-уровня знает, кто отправил запрос на использование частотного спектра, следовательно, он может легко определить, авторизовано ли устройство. Это позволяет избежать

многих случаев несанкционированного доступа к ресурсам спектра и контролировать всех пользователей частот и помех. На основе этих сообщений он может определить, следует ли предоставить дыру в спектре следующему пользователю.

В любой сетевой архитектуре устройства, способные отправлять и принимать пакеты, должны храниться на уровне SDN. Проще говоря, для создания полноценной беспроводной среды 5G, WiMAX, LTE и различных гетерогенных сетей 802.11 он способен передавать или маршрутизировать данные различных архитектур на контроллер стандартизированным образом. В сочетании с Mobile IP он может помочь объединить различные интерфейсы. Таким образом, решается проблема взаимного доступа гетерогенных сетей.

Согласно цели SDN, для достижения реконфигурируемости все беспроводные сетевые устройства должны быть учтены и храниться на маршрутизаторе или коммутаторе под управлением контроллера, чтобы контроллер мог отслеживать сетевые пакеты, публиковать политики или устранять ошибки в соответствии с результатами мониторинга.

Несомненно, что SDR и SDN способны повышать производительность сети, однако, полоса пропускания и спектр имеют косвенную связь. Сочетание их преимуществ может создать более эффективную архитектуру, поэтому архитектура должна учитывать индивидуальные взаимосвязи и взаимное влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pandey, M. S. A survey: Wireless mobile technology generations with 5G / M. S. Pandey, M. Kumar, A. Panwar // Int. J. Eng. Res. Technol., – 2013. – v. 2, № 4. – C. 288-292.

INTEGRATION OF SDR AND SDN IN 5G NETWORKS

Mamoshina Y.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines aspects of the integration of SDR and SDN in 5G networks.

УДК 654.165:004.273

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ СЕТЕЙ МАССОВОЙ МЕЖМАШИННОЙ СВЯЗИ ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СЕТЕВОГО СЛОЯ 5G

Гребешков А.Ю., Жулмурзинов Д.О.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Работа посвящена прикладным аспектам организации данных для применения машинного обучения при организации сетевых слоев (network slicing), охватывающих устройства интернета вещей, сети 5G и внешние информационные облачные сети и приложения. Физическая сеть 5G поддерживает массовую межмашинную связь (mMTC) для различных оконечных устройств Интернета вещей (IoT) с отличающимися функциями и требованиями к качеству связи.

В процессе использования по назначению для mMTC дополнительно используются облачные вычислительные инфраструктурные ресурсы включают управление информационными потоками и хранение данных. Сетевой слой или сетевое сегментирование есть метод, позволяющий создавать различные конфигурации виртуальных или логических сетей mMTC, наследующих общую физическую инфраструктуру. Однако сетевой слой может не являться достаточным для предоставления всех типов услуг для приложений mMTC. Поэтому с помощью машинного обучения сетевой слой может предоставлять ранжированный доступ к сетевым функциям, в том числе и не относящимся к базовым сервисам 5G, прежде всего к услугам информационных сетей для конкретных приложений mMTC.

Чтобы повысить эффективность использования физических и логических ресурсов сетевого слоя 5G в части обслуживания mMTC предлагается использовать машинное обучение, прежде всего метод главных компонент SVM в таких областях как здравоохранение, управление транспортными средствами и контроль безопасности. В свою очередь, другой метод К-средних (K-means) можно применять для масштабирования или кластеризации фрагментов (доменов) сетей mMTC и назначать формировать сетевые слои для физических и/или виртуальных групп устройств на основе схожих типов прикладных услуг либо на основе схожих характеристик, например энергосбережение. Предлагаемая методика применения любого их рассмотренных выше методов машинного обучения.

Для формирования обучающих данных и последующей процедуры обучения на данных сети mMTC предлагается трехуровневая виртуальная модель данных по аналогии с нейронными сетями. Трехуровневую виртуальную модель данных можно условно разделить на следующие слои: входной слой данных, скрытый слой данных и выходной слой данных, при этом каждый слой существует в пространстве и во времени.

Входной слой данных состоит из первичных данных в виде точек данных с динамическими характеристиками устройств mMTC, такими как тип устройства, IP-адрес устройства, средний или медианный размер пакета данных, мощность излучения, мгновенная скорость передачи, периодичность излучения и другие первичные характеристики.

Скрытый слой представляет производные точки данных, которые описываются интеллектуализированными показателями, такими как допустимые показатели задержек, уровни энергосбережения, адаптивная скорость передачи, изменяемые параметры мощности излучения. Как правило, показатели скрытого слоя есть функция от данных внешнего слоя, в простейшем случае как таблица истинности, и эта функция определяется либо в ходе машинного обучения либо аналитически при сборе и анализе данных.

Выходной слой данных определяет классификацию, идентификацию и кластеризацию и объектов сетей сеть mMTC с учетом результатов обучения на массиве внешнего слоя который строго или нечетко сопоставлен с внутренним слоем данных например в виде кортежа или класса. В результате появляется возможность управления сетевыми слоями mMTC в составе сетей 5G на основе данных машинного обучения (МО).

В рассматриваемом случае метод МО опорных векторов SVM в среде mMTC с поддержкой 5G можно применять для определения границы приоритетов доступа к сети 5G путем определения соответствующих групп устройств mMTC. Предлагаемый подход позволяет определить условные коэффициенты для ранжирования устройств mMTC в соответствии с вектором данных внешнего и внутреннего слоя. В результате можно сформировать в убывающим порядке требований к качеству связи упорядоченный перечень характеристик или атрибутов услуг устройств mMTC для сегментирования сети 5G. Для целей дальнейших исследований предполагается применение анализ предлагаемой методики на открытых данных сетей 5G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребешков А.Ю., Жулмурзинов Д.О. Анализ применения машинного обучения в сетях 5G / Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: мат-лы XXXII Росс. научн.-техн. конф. - Самара, 2025. - С.48-49.

Model for presenting massive machine type communications network data for ranking DEVICES AT 5G SLICING

Grebeshkov A.Y., Zhulmurzinov D.O.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A third-level virtual data model that uses machine learning to solve the problem of ranking devices at the 5G network slicing is proposed. For future studying a method for virtual data model exploration is declared.

УДК 004.724.4

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРЕГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Васин Н.Н., Гололобов А.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Сети передачи данных с каждым годом становятся всё более загруженными. Причина проста: растёт количество подключённых устройств, онлайн-видео, потоковых сервисов, а вместе с этим — и объёмы трафика. При таких условиях важно не просто поддерживать работу сети, но и заранее предугадывать возможные сбои. Один из эффективных способов справиться с этим — внедрение интеллектуальной маршрутизации.

В основе предложенного подхода лежит использование сверточной нейросети (CNN), способной анализировать сетевые данные во времени. В качестве входных параметров используются показатели загрузки канала, средняя задержка в миллисекундах, процент потерь пакетов и флаговые параметры TCP (например, SYN и ACK). На основе этих данных модель формирует бинарный прогноз: «0» — перегрузки в ближайшие 5 секунд не ожидается, «1» — вероятность высока.

Если прогноз указывает на перегрузку, маршрутизатор автоматически перенаправляет трафик на резервный маршрут. Это решение позволяет заранее обходить «узкие места» и сохранять качество связи. Такой подход особенно актуален в тех случаях, где перебои в передаче данных недопустимы — например, в системах удалённого управления или при обслуживании критически важных элементов инфраструктуры 5G.

Подобная система работает в реальном времени и не требует ручного вмешательства администратора. Это особенно важно в масштабных или распределённых сетях, где мониторинг каждого узла невозможен технически. Автоматизация прогнозирования и маршрутизации снижает нагрузку на сетевые службы, ускоряет реакцию на возникающие проблемы и помогает избежать цепных сбоев в инфраструктуре. Более того, гибкость модели позволяет адаптировать её под особенности конкретной сети — например, задать пороговые значения нагрузки или подключить дополнительные параметры мониторинга.

На рисунке 1 приведён пример работы модели: отображён временной ряд сетевой нагрузки и соответствующий прогноз вероятности перегрузки.

Рис. 1. Прогноз перегрузки маршрута на основе временного ряда нагрузки

Модель была обучена в TensorFlow, использовались как синтетические данные, так и реальные — собранные через Wireshark. Результаты показывают хорошую точность: предсказания совпадали с реальностью в 93% случаев, чувствительность достигала 88%. Графики подтверждают: модель действительно «чувствует», когда нагрузка выходит за пределы нормы.

В дальнейшем планируется улучшить архитектуру модели — в частности, объединить сверточные сети с рекуррентными (LSTM), чтобы лучше учитывать длительные временные зависимости. Это может значительно повысить устойчивость работы сетей в условиях нестабильной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелдимырадова, М. К. Управление трафиком в мультисервисных сетях связи: комплексный подход / М. К. Гелдимырадова, И. Розыев // Повышение качества жизни и обеспечение конкурентоспособности экономики на основе инновационных и научно-технических разработок : Сборник статей VII Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Минск, 03–05 декабря 2024 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2024. – С. 191-196. – EDN ANJHDA.
2. Haykin, S. Neural networks and learning machines / Simon Haykin. — 3rd ed. — Upper Saddle River : Pearson Education, 2008. — 936 p. — ISBN 978-0-13-147139-9.

INTELLIGENT ROUTING OF NETWORK TRAFFIC BASED ON CONGESTION PREDICTION USING NEURAL NETWORK MODELS

Vasin N.N., Gololobov A.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

УДК 621.395

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ГИБРИДНОГО ЯДРА СЕТИ ГОЛОСОВОГО ДОМЕНА

Бубель Д.А., Коняева О.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Эволюция телекоммуникационных сетей в сторону All-IP порождает необходимость длительного сосуществования традиционных (Circuit-Switched, CS) и современных (IP Multimedia Subsystem, IMS) технологий. Гибридное голосовое ядро, интегрирующее эти домены, представляет собой сложную распределенную техническую систему, где критическую роль играет эффективная система управления, обеспечивающая согласованную работу разнородных сетевых элементов.

На рисунке представлена архитектура системы гибридного голосового ядра. Под цифрой 1 на рисунке представлен Packet Core. Он отвечает за мобильный интернет и вход в IMS. И состоит из SGSN (Serving GPRS Support Node), MME (Mobility Management Entity), PCRF (Policy and Charging Rules Function), SGW (Serving Gateway), PGW (Packet Data Network Gateway). Под цифрой 2 расположен Services Domain, он объединяет в себе, как IMS, так и CS ядро. MGW (Media Gateway) выполняет функции MGCF (Media Gateway Control Function) и AGCF (Access Gateway Control Function). Ключевыми управляющими элементами архитектуры являются шлюзовые контроллеры. MGCF выступает центральным модулем управления межсетевым взаимодействием, осуществляя трансляцию сигнализации SIP (Session Initiation Protocol) ↔ ISUP/BICC (Integrated Services Digital Network User Part/Bearer Independent Call Control) и управление ресурсами MGW через протокол H.248. AGCF (Access Gateway Control Function) решает задачу управления абонентским доступом, адаптируя сигнализацию от немых терминалов PSTN (Public Switched Telephone Network) к SIP. MSS аналог MSC (Mobile Switching Center) только в гибридной сети, он управляет всеми звонками из CS сети. TAS (Telecom Application Server) предоставляет и управляет расширенным набором услуг в IMS сетях, а также с помощью процедуры T-ADS (Targeted Advertising Domain System) определяет в какой сети сейчас находится пользователь. P/I/S – CSCF (Proxy/Interrogating/Serving – Call Session Control Function) это ключевые функции в IMS, которые отвечают за безопасную обработку звонка. MRF (Media Resource Function) отвечает за конференцсвязь, тоновые сигналы и прочие доп. услуги. Под цифрой 3 изображены HLR (Home Location Register) и HSS (Home Subscriber Server), HLR это база данных абонентов в 2G/3G сетях, а HSS в 4G сетях. Они хранят в себе все подписки, услуги и местоположение абонентов. Под цифрой 4 находится OSS (Operations Support System), которая отвечает за мониторинг и управление сетью со стороны оператора связи.

Также на рисунке представлены элементы, не обозначенные цифрами, такие как BGW (Border Gateway), он отвечает за отделение ядра сети от внешних

сетей для обеспечения дополнительной безопасности периметра сети. BTS (Base Transceiver Station), NB, eNB это базовые станции в 2G, 3G и 4G сетях соответственно. BSC (Base Station Controller) и RNC (Radio Network Controller) − это контроллеры базовых станций в 2G и 3G. В сетях 4G контроллер не требуется. UE (User Equipment) любое устройство, которое пользуется голосовым или пакетным доменом, например мобильный телефон, планшет и т.д.

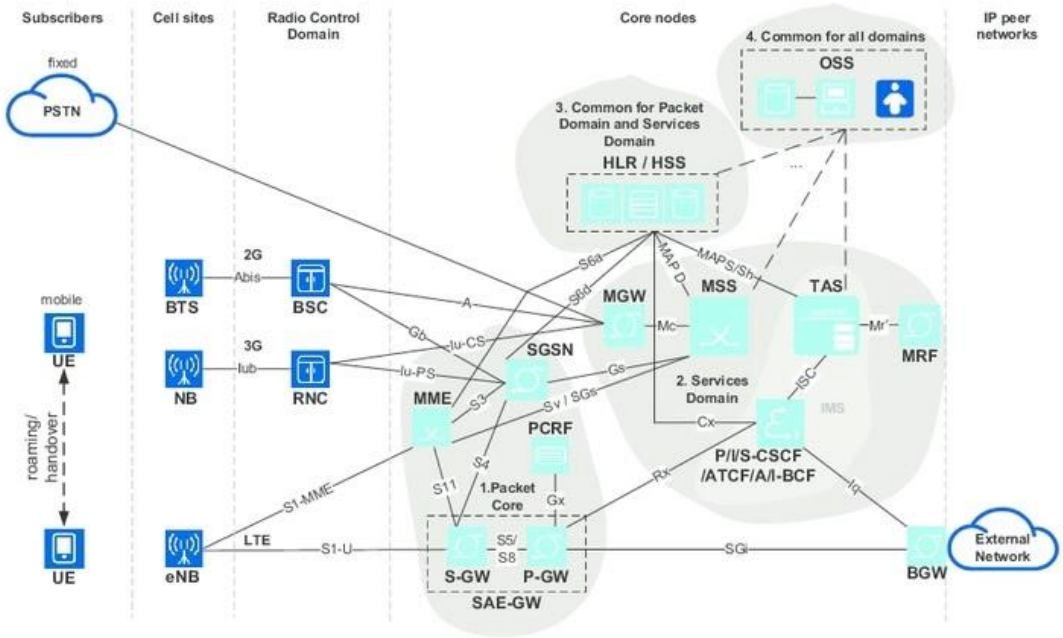


Рис. 1. Архитектура системы гибридного ядра сети

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способин В.К. Конвергентные сети связи / В.К. Способин, Л.А. Сероштан. – М.: Эко-Трендз, 2018. – 352 с.

2. 3GPP TS 23.228. IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2 (Release 18) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.3gpp.org (дата обращения: 10.03.2024).

ARCHITECTURE OF A HYBRID VOICE DOMAIN CORE NETWORK SYSTEM

Bubel D.A., Konyaeva O.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The hybrid voice core, integrating domains, is a complex, distributed technical system where an effective management system plays a critical role, ensuring the coordinated operation of disparate network elements.

УДК 519.872

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ВНЕДРЕНИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ДИСПЕТЧЕРА НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА

Диязитдинова АР., Загирова А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В докладе исследуется работа оператора пульта управления в добыче нефти и газа 4-го разряда. Квалификация 4-го разряда применяется при работах на неавтоматизируемых промыслах. Основными должностными обязанностями оператора является осуществление контроля за технологическим процессом добычи нефти и газа на промысле и дистанционное управление технологическим процессом замеров добычи нефти и газа с помощью средств автоматики и визуальных данных на мониторе. Также в обязанности оператора входит поддержание работы оборудования, оперативное устранение мелких неисправностей и сбор данных для формирования отчетности. Более привычный термин этой должности – диспетчер. Данная специальность выделилась в отдельную должность в связи с внедрением компьютеризированных систем и автоматики.

Внедрение принципов бережливого производства в компаниях нефтегазовой отрасли является весьма перспективным механизмом оптимизации рабочих процессов, но в добыче нефти опыт применения инструментов бережливого производства практически отсутствует.

Под бережливым производством принято понимать систему организации производства, направленную на непрерывное совершенствование деятельности компании для достижения долгосрочной конкурентоспособности. Основным достоинством бережливого производства принято считать снижение потерь рабочего времени и материальных ресурсов, повышение производительности и повышение мотивации и ответственности работников.

Более 20 инструментов бережливого производства (визуализация, картирование, 5S, Just-in-Time (JIT), Kaizen, Poka-Yoke, SMED и т.д.) с одной стороны, позволяют реализовать множество аспектов применения бережливого производства, а, с другой, – многообразие инструментов может вызывать сложности при их выборе. Наиболее перспективными инструментами для улучшения деятельности оператора пульта управления в добыче нефти и газа представляются картирование и 5S.

Как указано в [1], нефтегазовая отрасль характеризуется особенностями, которые необходимо учитывать при внедрении бережливого производства:

- стабильный рост как производства, так и потребления;
- высокая степень концентрации производства и централизация управления;
- значительный уровень капиталоемкости;
- высокая степень влияния на экологию и социальную сферу.

Учитывая стратегическую важность и сложность нефтегазовой промышленности, внедрять любое рационализаторское предложение следует с некоторой оглядкой. Для «искусственного проигрывания» предлагается разработать имитационную модель в AnyLogic, которая позволит визуализировать производственные процессы работы оператора пульта управления и позволит детально рассмотреть причинно-следственные диаграммы обратной связи. AnyLogic позволит виртуально протестировать различные сценарии «что если», обнаружить «узкие места», повысить точность анализа.

Обобщенно рабочие обязанности оператора пульта управления в добыче нефти и газа можно разделить на следующие части:

- мониторинг параметров кустов скважин и мониторинг процесса сепарирования газа и нефтяного сырья;
- передача центральной инженерно-технологической службе заявки на новую спецтехнику и транспорт;
- оценка и составление сводки о работе скважин и сдаче продукции, движении бригад подземного и капитального ремонта скважин.

В рамках первого этапа работ предполагается создание имитационной модели обслуживания заявки на спецтехнику и движении ремонтных бригад. На основании анализа полученных на имитационной модели результатов, становится возможным сформировать перечень рекомендаций по ее оптимизации и целесообразности применения положений бережливого производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровина А. А. Перспективы бережливого производства в нефтегазовой промышленности // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2023. Т. 14, № 2. С. 55–63. DOI: http://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-2-55-63

SIMULATION MODELING AS A TOOL FOR IMPLEMENTING LEAN MANUFACTURING IN THE WORK OF AN OIL AND GAS FIELD DISPATCHER

Diyazitdinova A.R , Zagirova A.R.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper proposes the use of the AnyLogic simulation environment to assess the implementation of Lean Manufacturing principles in the activities of a 4th-grade control room operator in oil and gas production.

УДК 543.42

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОМЕХИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИСТЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ СПЕКТРА

[1]Елисеев С.Н., [2]Степанова Н.В.
([1]Московский технический университет связи и информатики,
[2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Точность измерения мощности помех существенно влияет на эффективность функционирования систем зондирования спектра. Чем точнее определяется мощность помехи, тем выше вероятность правильного распознавания сигнала и принятия верного решения относительно наличия свободного частотного ресурса. Повышение точности оценки уровня помех является критически важным аспектом проектирования современных интеллектуальных систем радиообнаружения и анализа спектра. При изучении свойств энергетического детектора [1, 2] исследователи учитывают неизбежную погрешность в оценке мощности шума, вызванную комплексом реальных условий:

$$\frac{\sigma_n^2}{\rho} \le \sigma_n^2 \le \rho\sigma_n^2 \qquad (1)$$

Научная новизна данного исследования заключается в разработке адаптивной модели компенсации систематической погрешности для энергетического детектора, функционирующего в условиях априорной неопределённости мощности шума, именно это принципиально отличает предложенный подход от классических методов с фиксированным порогом.

Практическое применение полученных результатов напрямую связано с повышением надёжности и спектральной эффективности систем динамического доступа к радиочастотам. Разработанная методика позволяет предсказуемо настраивать порог обнаружения под конкретные условия эксплуатации, минимизируя риск ложных решений о занятости частотного диапазона. Внедрение данного подхода в алгоритмы базовых станций мониторинга спектра позволяет повысить достоверность радиообстановки и оптимизировать планирование ресурсов в реальном времени. Исследование обеспечивает инструментарий для перехода от статичных систем обнаружения к адаптивным, устойчивым к изменяющимся помеховым условиям.

График на рисунке 1 демонстрирует, как вероятность ложной тревоги изменяется в зависимости от параметра неопределённости ρ. Полученный вывод указывает на необходимость коррекции порогового уровня.

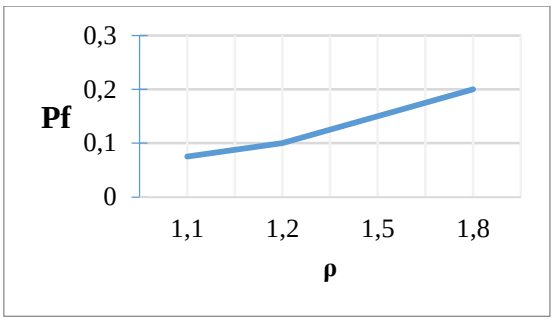


Рис. 1. Зависимость P_f от ρ.

График зависимости вероятности правильного обнаружения P_d от значений *snr* приведён на рисунке 2.

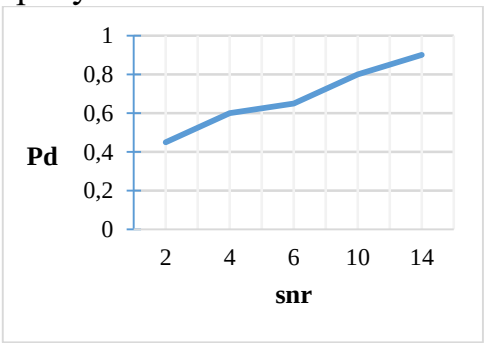


Рис. 2. График зависимости P_d от *snr*.

График показывает, как резко или плавно растёт *Pd* с увеличением SNR. Резкий подъём кривой указывает на наличие выраженного порога, после которого система становится высокоэффективной. Плавный рост характерен для систем, постепенно улучшающих своё качество с усилением сигнала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Chen, “Improved energy detector for random signals in Gaussian noise,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 9, no. 2, pp. 558–563, Feb. 2010.

2. A.Singh, M. Bhatnagar, and R. Malik, Cooperative Spectrum Sensing in Multiple Antenna Based Cognitive Radio Network Using An Improved Energy Detector. IEEE Communications Letters, 16(1), p.64-67, January 2012.

INFLUENCE OF INTERFERENCE POWER DETERMINATION ACCURACY ON THE DETECTION CHARACTERISTICS OF SPECTRUM SENSING SYSTEMS

[1]Eliseev S.N. , [2]Stepanova N.V.

([1]Moscow Technical University of Communication and Informatics, [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Modern developments in telecommunications technologies place increased demands on the efficient use of the radio frequency spectrum. One of the key challenges is the accurate characterization of noise and interfering signals, which impacts the reliability of spectrum monitoring systems and spectrum access management.

УДК 543.42

«КОГНИТИВНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»: БУДУЩЕЕ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РАДИОСЕТИ

Степанова Н.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современный мир характеризуется экспоненциальным ростом объема передаваемых данных и увеличением числа подключенных устройств. Традиционные подходы к организации беспроводных сетей становятся недостаточными для удовлетворения потребностей пользователей в скорости передачи данных, надежности соединений и энергетической эффективности. Именно здесь когнитивная связь становится ключевой технологией будущего.

Когнитивная связь представляет собой концепцию адаптивной сети, способной автоматически анализировать окружающую среду и оптимизировать свою работу в зависимости от текущих условий. Эта технология основана на принципах машинного обучения и искусственного интеллекта, позволяющих сетям самостоятельно выбирать наиболее эффективные частоты, мощности сигнала и методы кодирования [1].

Использование когнитивных технологий открывает новые возможности для улучшения качества обслуживания и повышения пропускной способности беспроводных сетей. Среди основных преимуществ можно выделить:

1) Оптимизация энергопотребления путем выбора наилучших режимов работы.

2) Автоматическое обнаружение и использование свободных частот.

3) Возможность быстрой адаптации к изменениям окружающей среды.

4) Развитие инновационных приложений, таких как Интернет вещей (IoT) и автономные транспортные средства.

Уже существуют успешные примеры реализации когнитивных решений в телекоммуникационной отрасли. Например, компания Ericsson разработала систему Cognitive Radio Access Network (RAN), которая позволяет операторам мобильной связи динамически управлять ресурсами сети, обеспечивая оптимальное распределение спектра и улучшая качество обслуживания клиентов.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение когнитивных технологий сталкивается с рядом проблем:

1) необходимость согласования использования частот с регулирующими органами.

2) обеспечение защиты данных и предотвращение несанкционированного доступа.

3) гармонизация различных протоколов и интерфейсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Mitola, Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio. Royal Institute of Technology (KTH), 2005.

"Cognitive Horizons": The Future of Wireless Communications and Intelligent Radio Networks

Stepanova N.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Cognitive communications is a promising direction for wireless network development, with the potential to significantly improve the efficiency of existing infrastructures and create a foundation for future innovation. Despite existing challenges, further research and development in cognitive technologies promises to lead to the creation of highly efficient and reliable systems.

УДК 621.391.1

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ С ПАМЯТЬЮ ДЛЯ СИСТЕМЫ OFDM

Слипенчук К.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современных беспроводных сетях связи широко используются методики передачи данных посредством параллельной обработки сигналов на множестве ортогональных несущих частот, известная технология OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), на ее основе разработаны несколько улучшенных версий: N-OFDM; COFDM; OFDMA [1]. Учитывая известные ограничения технологии OFDM, возникают задачи, направленные на ее совершенствование, решение которых приводит к улучшению характеристик и эффективности её производных технологий, перечисленных выше. Важной проблемой современных систем OFDM является оценивание параметров канала связи с межсимвольной интерференцией, в частности импульсной характеристики.

Определение характеристик реального канала связи, подтвержденного влиянию помех и деформаций сигнала, играет решающую роль при разработке эффективных приемных устройств. Предлагается рассмотреть применение метода регуляризации для оценки передаточной функции канала, осложненного эффектом межсимвольной интерференции. Формула метода регуляризации для системы OFDM конкретно для импульсной характеристики, обозначенной **H**, представлена следующим образом: $\mathbf{H} = ((\mathbf{U})^T \cdot \mathbf{U} + \alpha\mathbf{I})^{-1} \cdot (\mathbf{U})^T \cdot \mathbf{Z}$,

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_0 & 0 & 0 & 0 \\ u_1 & u_0 & 0 & 0 \\ \mathrm{M} & u_1 & \mathrm{O} & . \\ u_{N-1} & u_{N-2} & \mathrm{L} & u_0 \end{bmatrix}$$

где – матрица комплексных отсчетов огибающей передаваемого OFDM символа, **Z** – принимаемый сигнал после канала связи, **I** – единичная матрица.

Применение метода регуляризации существенно повышает качество оценивания импульсной характеристики еще и за счет модернизации структуры OFDM-сигнала, предусматривающей использование специализированных последовательностей в структуре полезного сигнала (Рис. 1). Проведено моделирование системы OFDM с решением задачи подбора специальных испытательных комбинаций и нахождением импульсной характеристики методом регуляризации для каналов связи с межсимвольной интерференцией и разных значений сигнал/шум.

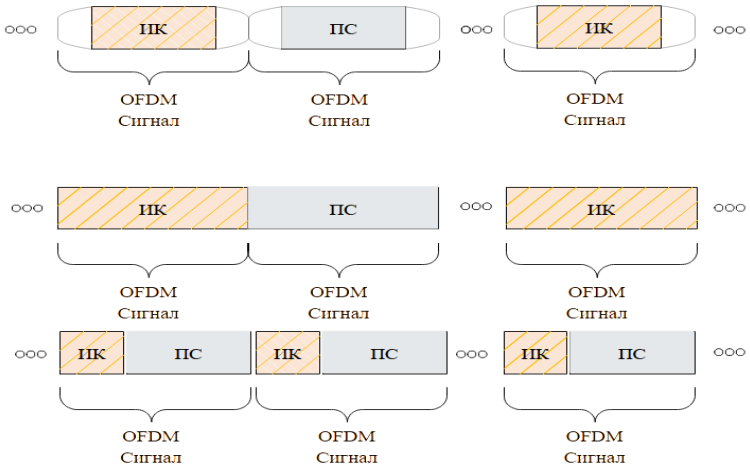


Рис. 1. Различные виды структур вставки испытательных комбинаций

Разработанные подходы оказались эффективные не только для классических OFDM-систем, но перспективны для расширенных версий технологий, таких как N-OFDM, COFDM, OFDMA, что открывает возможности для дальнейшего совершенствования существующих технологий цифровой передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shengli, Z. Finite-alphabet based channel estimation for OFDM and related multicarrier systems / Z. Shengli, G.B. Giannakis // IEEE Transactions on Communications. - 2001. - Vol. 49, Issue 8. -P. 1402-1414. -. DOI: 10.1109/26.939873

2. Андрушевский, Н.М. Анализ устойчивости решений систем линейных алгебраических уравнений: учебное пособие / Н.М. Андрушевский. - М.: МАКС Пресс, 2008. - 76 с.

CHANNEL PARAMETER ESTIMATION FOR MEMORY SYSTEMS IN OFDM

Slipenchuk K.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In wireless telecommunication systems, methods for transmitting information flows using multiple parallel orthogonal carrier frequencies—Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology—are widely employed. When inter-symbol interference occurs, the processing of OFDM signals necessitates knowledge of channel parameters.

УДК 004.89

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КРЕАТИВНЫХ ИНДУСТРИЯХ

Бедняк С.Г., Мосин С.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время искусственный интеллект утвердился в качестве фундаментального инструмента трансформации креативных индустрий, включая визуальное искусство, музыку, литературу, дизайн и кинематограф. Современные генеративные модели, такие как трансформеры, генеративно-состязательные сети (GAN), GPT-4 и DALL·E, демонстрируют беспрецедентную способность генерировать новые художественные образы, точно имитировать стилистику признанных авторов и создавать оригинальный контент, доступный даже пользователям без специальной профессиональной подготовки. Проникновение ИИ в креативные индустрии носит системный характер: в визуальных искусствах модели диффузии и GAN позволяют создавать высокодетализированные изображения по текстовым запросам [2], а в музыке алгоритмы, подобные OpenAI's Jukebox, генерируют композиции в стиле конкретных исполнителей [1]. Ключевым аспектом является демократизация творчества, стимулирующая развитие «просьюмерской» культуры, где потребитель одновременно становится создателем [3]. Центральным остается вопрос идентификации авторства: может ли автором считаться сама модель, пользователь, выдающий команды, или разработчик, создавший алгоритм.

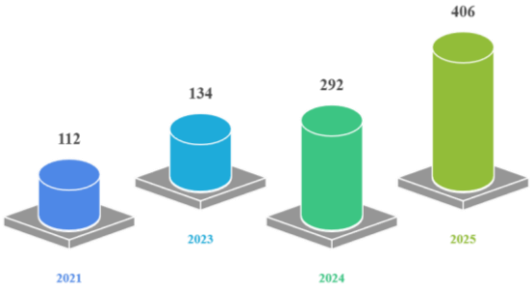


Рис. 1. Статистика по судебным делам, связанным с ИИ в России

Правовые системы многих стран не имеют однозначного ответа на этот вопрос, поскольку традиционное авторское право предполагает обязательное участие человека-творца. А обучение современных моделей требует масштабных наборов данных, которые зачастую включают материалы без надлежащего разрешения правообладателей, что провоцирует многочисленные судебные разбирательства и публичные дискуссии (Рис. 1). Параллельно с этим генеративные технологии, упрощая создание контента, несут риски снижения его качества и утраты аутентичности.

Также существует мнение, что распространение генеративных ИИ вызывает сокращение творческих профессий и усугубляет проблему дезинформации. Чрезмерная зависимость от ИИ, особенно у молодого

поколения, может привести к пассивному потреблению контента и делегированию творческих задач, что ослабляет критическое мышление, воображение и способность самостоятельно решать сложные проблемы.

В ответ на эти вызовы международные организации активно разрабатывают нормативные и этические рамки. Правовое поле России в сфере ИИ находится в стадии активного формирования. Специального закона, регулирующего авторские права на произведения, созданные искусственным интеллектом, пока не принято. В основе регулирования лежат указ президента №490 о развитии ИИ, федеральные законы о персональных данных и об экспериментальных правовых режимах, а также соответствующие статьи Гражданского кодекса (ГК) РФ. Осенью 2025 года в Госдуме планировалось обсуждение поправок к ст. 1259 ГК, которые позволят закреплять авторские права на материалы, созданные с использованием нейросетей [4]. Это свидетельствует о движении законодателя в сторону признания и защиты результатов человеко-машинного творчества.

Таким образом, несмотря на риски, ИИ обладает потенциалом для демократизации творчества и применим в креативных индустриях, но для превращения его в надежного партнёра, а не угрозу, требуется ответственное внедрение, включающее этические стандарты, защиту прав авторов и прозрачность в использовании данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bommasani R. et al. On the Opportunities and Risks of Foundation Models. 2022 [Электронный ресурс]/ URL: https:// https://arxiv.org/abs/ 2108.07258 (дата обращения: 10.09.2025).
2. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2022. P. 10684–10695.
3. Banks J., Potts J. Co-creating games: A co-evolutionary analysis // New Media & Society. 2010. Vol. 12, no. 2. P. 253–270.
4. Виноградов В. Авторское право на произведения, созданные с использованием искусственного интеллекта: проблемы и перспективы // Хозяйство и право. 2024. № 4. С. 78-85.

USE OF ART INTELLECT IN CREATIVE INDUSTRY

Bednyak S.G., Mosin S.D.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article discusses modern approaches to the application of artificial intelligence technologies in creative industries. The directions of using machine-learning algorithms for the generation of artistic content, music, texts and visual art are analyzed. Special attention is paid to the issues of authorship, legal protection and the role of man in the conditions of growing automation of creative processes.

УДК 004.89

ИНТЕГРАЦИЯ ФРОНТЕНД- РЕШЕНИЙ И ЧАТ-БОТОВ

Бедняк С.Г., Пименов Д.А., Сафронов С.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современное общество стремительно движется в сторону полной цифровизации. На фоне возрастающих ожиданий пользователей от качества обслуживания, всё более актуальной становится задача создания сервисов, которые способны обеспечивать мгновенное, удобное и персонализированное взаимодействие. Цифровые ассистенты, представляющие собой сочетание технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и обработки естественного языка, становятся важнейшим инструментом удовлетворения этих запросов.

Интеграция фронтенд-решений и чат-ботов при реализации таких цифровых решений, сталкивается с проблемой обеспечения бесшовного пользовательского опыта, так как разрыв между статичным интерфейсом и динамичным диалогом может дезориентировать пользователя. Дополнительную сложность создаёт синхронизация данных между элементами интерфейса и контекстом диалога в многозадачных сценариях. Кроме того, остро стоят вопросы производительности и масштабируемости, так как интеграция ресурсоёмких AI-моделей в реальном времени не должна снижать скорость отклика, особенно в архитектуре micro-frontends.

Одним из критических аспектов эффективности цифрового ассистента является качество пользовательского интерфейса. Интуитивно понятные, доступные и адаптивные фронтенд-решения играют ключевую роль в обеспечении взаимодействия человека и машины. Особенно это важно в секторах, где оперативность и точность коммуникаций определяют конкурентоспособность — в сфере технического обслуживания, телекоммуникаций, здравоохранения, электронной коммерции, государственном управлении [1].

Интеграция фронтенд-решений с чат-ботами позволяет не только расширить функциональные возможности сервисов, но и вывести взаимодействие с пользователем на новый уровень, приближая его к естественной человеческой коммуникации.

В последние годы фронтенд стремительно развивается, предлагая всё более эффективные подходы к разработке: от реактивных библиотек (React, Vue.js, Svelte) до сложных SPA (Single Page Applications) [2]. Ключевыми требованиями к фронтенду цифрового ассистента являются: производительность, адаптивность, интуитивность и персонализация.

Особое внимание при этом уделяется концепции micro-frontends. Архитектура интеграции цифровых ассистентов строится вокруг нескольких ключевых компонентов (Frontend Layer, API Gateway, Bot Server, Data Storage, AI/NLP Engines). Использование паттернов поведения пользователей (User

Journey Mapping), прототипирование (Wireframes, Interactive Prototypes) и тестирование гипотез (A/B Testing) позволяют создавать интерфейсы, минимизирующие когнитивную нагрузку и повышающие вовлечённость пользователей.

Чат-боты, как ключевой компонент цифровых ассистентов, обеспечивают круглосуточное автоматизированное взаимодействие. Развитие ИИ в обработке текстов прогнозирует рост их точности и областей применения [3]. Современные платформы (Dialogflow, Rasa, ChatGPT API и др.) позволяют создавать гибкие и адаптируемые под бизнес-задачи решения, которые интегрируются в различные цифровые экосистемы. Интеграция чат-ботов в мессенджеры и корпоративные порталы (Slack, Microsoft Teams) усиливает мультиканальность взаимодействия и увеличивает охват аудитории.

Таким образом, интеграция фронтенд-решений и чат-ботов как основа цифровых ассистентов является необходимым этапом эволюции цифровых сервисов. Современные технологии позволяют строить системы, способные эффективно взаимодействовать с пользователями, предвосхищать их потребности и оказывать помощь в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чжао Ин, Мэн Сы Юй, Чжан Ян. Исследование инновационных сервисов и разработка интеллектуальных библиотек в рамках концепции метавселенной // Педагогический журнал. 2023. Т. 13. № 6А. С. 417-425.
2. Джанарсанам Срини. Разработка чат-ботов и разговорных интерфейсов /ДМК-Пресс, 2019. – 340 с.
3. Алексеева, М. Б. Анализ инновационной деятельности: учебник и практикум для вузов/ М. Б. Алексеева, П. П. Ветренко. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 303 с.

INTEGRATION OF FRONTEND SOLUTIONS AND CHATBOTS

Bednyak S.G., Pimenov D.A., Safronov S.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The development of digital assistants has become a key trend in the transformation of modern services aimed at increasing their efficiency and personalization. The integration of frontend solutions with chatbots ensures intuitive interaction, optimizes the user experience and facilitates the automation of business processes. This article discusses architectural approaches, user interface design features, and the use of artificial intelligence and natural language processing in the development of digital assistants. Practical examples are presented, as well as recommendations for building effective solutions for various industries. Special attention is paid to the prospects for the development of digital assistants in the context of multichannel and personalization services.

Integration of frontend solutions and chatbots as the basis of digital assistants is a necessary stage in the evolution of digital services.

УДК 330

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ KPI В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПАНИЯХ

Коробко О. А., Диязитдинова А Р.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Телекоммуникационные компании сегодня функционируют в условиях цифровой трансформации, когда ежедневно генерируются значительные объемы разнообразных данных: финансовых, технических, клиентских. Эффективное управление такими данными становится возможным только при применении интеллектуальных методов их обработки и визуализации. Одним из ключевых инструментов управленца выступает система мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI), позволяющая руководителям оперативно принимать решения. Однако традиционные дашборды, построенные на статических отчетах и стандартных методах бизнес-аналитики, не всегда могут обеспечить требуемую глубину анализа и прогностическую ценность. В связи с этим, актуальным представляется внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые позволяют перейти от простого отображения данных к интеллектуальному прогнозированию и оперативному выявлению скрытых закономерностей.

Ключевым фактором эффективности управленческих решений является корректный выбор и интерпретация KPI. Использование ИИ даёт возможность:

- автоматизировать сбор и предобработку данных из различных источников (CRM, ERP, системы мониторинга сетей);
- выявлять нелинейные зависимости между показателями;
- осуществлять прогнозирование динамики KPI на основе машинного обучения;
- адаптировать визуализацию под конкретные информационные потребности пользователей.

В исследовании предложен подход к построению интеллектуального дашборда для телекоммуникационной компании, включающий несколько этапов:

1. Формирование базы KPI – определение перечня показателей, соответствующих стратегическим и тактическим целям телекоммуникационной компании.
2. Сбор и интеграция данных – подключение источников из CRM, ERP, OSS/BSS-систем, сетевых мониторингов.
3. Применение алгоритмов ИИ:

- регрессионные модели и нейронные сети для прогнозирования динамики выручки и нагрузки на сеть;
- методы кластеризации (например, k-means) для сегментации клиентской базы и выявления групп с высоким риском оттока;

– алгоритмы обнаружения аномалий (Isolation Forest, DBSCAN) для выявления сетевых сбоев и нетипичных бизнес-процессов.

4. Интеллектуальная визуализация – применение интерактивных графиков и динамических моделей для отображения сценариев «что если» (What-if analysis).
5. Оценка эффективности – анализ времени обработки информации специалистами и точности прогнозов по сравнению с традиционными методами.

Для разработки интеллектуального дашборда была использована следующая последовательность шагов:

1. Формирование базы KPI для телекоммуникационной компании (финансовые, операционные, клиентские, инновационные показатели).
2. Применение алгоритмов машинного обучения (градиентный бустинг, нейронные сети) для прогнозирования изменений показателей.
3. Использование методов кластеризации (k-means) для сегментации клиентской базы и выявления аномальных значений.
4. Интеграция аналитических модулей с элементами ИИ в дашборд с возможностью интерактивного выбора сценариев.

Применение технологий ИИ в системах анализа и визуализации KPI открывает новые перспективы для телекоммуникационных компаний. Интеллектуальные дашборды позволяют не только контролировать текущие показатели, но и прогнозировать их изменения, выявлять риски и предлагать оптимальные сценарии развития. Это позволит значительно повысить качество предоставляемых услуг и укрепить конкурентоспособность компаний в условиях цифровой экономики.

AI APPLICATION FOR KPI ANALYZING AND VISUALIZATION FOR TELECOMMUNICATION COMPANIES

Korobko O. A., Diyazitdinova A. R.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the intellectual dashboard applying for performance improvement of Telecommunication Company. Also KPI and AI methods for dashboard development were shown.

УДК 004.71

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИОРИТЕЗАЦИИ ТРАФИКА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Воронцов М.Г., Тарасов В.Н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Технология приоритезации трафика, или же QoS, является критически важной в случаях недостаточной пропускной способности сетевого оборудования для обеспечения передачи сигналов управления и мониторинга в сетях оборудования АСУТП с допустимой задержкой, или же оптимизации локальной сети предприятия для дальнейшего масштабирования производственной линии. Протоколы, имеющие сверхвысокие требования к задержке передачи, такие как PROFINET IRT и TSN, вынуждают внедрять методы разделения трафика на классы для эффективного управления технологическими процессами и снижения коэффициента ошибок без необходимости организовывать выделенные линии для оборудования АСУТП.

На возможность передачи трафика с допустимой задержкой и джиттером в локальных вычислительных сетях производства чаще всего влияет загрузка канала передачи. Её значение превышает ожидаемое в случае возникновения нештатной ситуации, такой как отказ сетевого оборудования с дальнейшим использованием резервного канала, или кратковременный всплеск низкоприоритетного трафика.

Наиболее распространенным способом применения QoS в сетях предприятий является механизм DiffServ (Differentiated Services). При применении данного подхода трафик от разных устройств производственной линии разделяется на различные классы DSCP в зависимости от требований к задержкам (Differentiated Services Code Point). Промышленные коммутаторы производственной линии следует конфигурировать таким образом, чтобы исходящему трафику был присвоен класс EF (Expedited Forwarding) [1].

По отношению к трафику, исходящему от устройств производственной линии, применяют следующие механизмы обработки трафика: Strict Priority, при котором пакеты из очереди с высшим приоритетом принимаются исключительно первыми, и Weighted Round Robin, при котором каждая очередь получает гарантированную часть полосы пропускания. При этом весь трафик АСУТП нежелательно проводить лишь через один из перечисленных механизмов обработки. Таким образом, трафик критичных команд ПЛК всегда необходимо обрабатывать первостепенно, следовательно ему необходимо присвоить механизм обработки Strict Priority, в то время как сигналы мониторинга и телеметрии следует обрабатывать механизмом Weighted Round Robin, выделяя им определенную долю в канале [1].

Для гибких и легко масштабируемых производственных линий, частое вмешательство в конфигурацию сетевого оборудования является существенной дополнительной финансовой и трудовой затратой. Ввиду этого необходимо

использовать механизмы приоритезации трафика с динамически изменяемыми параметрами. Готовым решением выступает система управления QoS с использованием DPI, а также Cisco AutoQoS. Но данные решения строятся на основе статических таблиц, а значит, неспособны обработать запрос, не предопределенный прописанным заранее шаблоном. Также данные решения не лишены подверженности человеческому фактору, и уязвимы к ошибкам конфигурации, что особенно опасно при настройке производственной линии. Разработка системы управления QoS на базе временных автоматов [2] позволяет решить указанные выше проблемы. Суть данного подхода заключается в том, чтобы верифицировать обеспечение необходимых параметров передачи путем тестирования модели сети с заданными параметрами [2]. Данный метод позволяет быстро реагировать на непредвиденный трафик, обеспечивая высокую гибкость и легкую масштабируемость сети с сохранением необходимых для работоспособности производственной линии параметров передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Babiarz J., Chan K., Baker F. Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes [Электронный ресурс] // IETF RFC 4594. – 2006. – August. – URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4594
2. Bordbar B., Anane R. An Architecture for Automated QoS Resolution in Wireless Systems [Электронный ресурс] // Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05). — 2005. — Vol. 2. — P. 653–658. — URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/1430665

УДК 621.398

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК НА БАЗЕ IOT-УСТРОЙСТВ И SCADA-СИСТЕМЫ

Щевелев К. К., Иванов А.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

В рамках концепции «Индустрия 4.0», которая подразумевает комплексную автоматизацию производства, внедрение искусственного интеллекта, машинного обучения и создание цифровых двойников, особое внимание уделяется последним.

Цифровой двойник - это виртуальная динамическая копия физического объекта, процесса или системы, которая синхронизирована с ним с помощью данных, поступающих с датчиков[1].

Для преодоления информационного вакуума между IFC-моделями и SCADA-системами цифровой двойник служит единой платформой, обеспечивающей их бесшовную интеграцию, контекстную визуализацию данных, сквозное моделирование и переход к проактивному обслуживанию.

Также есть проблемы неоднородности данных в территориально-распределенных комплексах (например, в АПК), низкой эффективности и гибкости управления в обрабатывающей промышленности, а также медленного внедрения инноваций и сложностей с кастомизацией на малых и средних предприятиях автопрома [2].

Для решения этих системных проблем необходим новый подход, которым является создание цифрового двойника (ЦД). Отраслевой опыт демонстрирует его эффективность: для распределенных комплексов (АПК) ЦД объединяет разрозненные данные для сквозного управления; в обрабатывающей промышленности - используется для предиктивной аналитики и имитационного моделирования, сокращая циклы и риски [3].

Однако проблема внедрения цифровых двойников все еще является нерешенной из-за проблем внедрения в существующие автоматизированные системы без внесения существенных изменений, совместимости и вопросов безопасности.

В рамках планируемой работы будет реализована система мониторинга состояния лабораторий и аудиторий в реальном времени, контроля и учёта доступа, а также будет решаться задача интеграция цифрового двойника в автоматизированную систему управления (АСУ).

Ключевой задачей является решение проблемы внедрения в защищенные технологические сети без нарушения их безопасности и целостности. Предлагаемое решение, развернутое на собственном Linux -сервере, будет интегрировано в имитационную модель АСУ по протоколу OPC UA. Это позволит адаптировать систему для работы с различным оборудованием (ПЛК, IoT-устройства) и обеспечить безопасный обмен данными между новой платформой и действующей системой.

Для построения системы цифрового двойника используется собственный Linux-сервер, на котором развернуто следующее программное обеспечение: MasterSCADA 4D - выполняет роль ядра АСУ ТП, обеспечивая визуализацию, контроль и наблюдение за процессами в реальном времени. OPC UA - сервер выступает центральным шлюзом для интеграции данных от разнородных источников: программируемых логических контроллеров (ПЛК ОВЕН) и сети IoT-устройств, работающих по протоколу MQTT. MasterDigitalTwin - решает задачи по совмещению IFC-модели (разработанной в nanoCAD BIM) с данными телеметрии, обеспечивая управление и визуализацию интерактивной 3D-модели в интерфейсе MasterSCADA. Сервер, ПЛК и IoT-устройства синхронизируются со временем через GPS/ГЛОНАСС-приемник, что повышает защищенность и обеспечивает изолированность системы от внешних сетей.

Для обеспечения мониторинга помещений и лабораторий планируется разработка IoT-сенсоров с реализацией принципа граничных вычислений, что должно обеспечить возможность внедрения больших объемов устройств подобного типа без необходимости наращивания как пропускной способности существующих сетей передачи данных, так и увеличения вычислительной мощности серверной части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамаева Е.Ф., Берг Д.Б., Бренов Д.А., Доманова М.Е. Цифровой двойник территориально-производственного комплекса полного цикла: шаблон проектирования при принятии решений // Эргодизайн. - 2025. - № 1 (27). - С. 58-68.
2. Пономарев К.С., Феофанов А.Н., Гришина Т.Г. Цифровой двойник как средство развития корпоративных информационных технологий // Пром-инжиниринг: труды V Всероссийской научно-технической конференции. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. - С. 353-356.
3. Габитова Г.Ф., Хватова Т.Ю. Цифровой двойник как основа инновационного развития малых и средних предприятий автомобильной промышленности на примере Германии и России // Бизнес. Образование. Право. - 2020. - № 3 (52). - С. 132-138.

DIGITAL TWIN BASED ON IOT DEVICES AND SCADA SYSTEMS

Shchevelev K. K., Ivanov A. A.
(Ufa University of Science and Technology)

The article discusses the application of digital twins within the framework of the Industry 4.0 concept for the integration of IFC models and SCADA systems, solving the problems of data heterogeneity and increasing the efficiency of management. It describes the development of a monitoring system and the integration of a digital twin into the automated process control loop based on a Linux server using MasterSCADA 4D and the OPC UA protocol.

УДК 621.398

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ГАС

Антипова В.Е., Воронков Г.С., Енгалычев И.Р.
(Уфимский университет науки и технологий)

Сигнал в гидроакустическом канале связи в бурении подвержен различным шумам, наиболее сильным из которых является шум насоса. Он имеет несколько отдельных гармонических компонентов в диапазоне 1,5-20 Гц, в то время как в диапазоне 40-60 Гц он представлен маломощными случайными шумами [1,2]. Шум механических вибраций забоя скважины и импульсный шум имеют частотный диапазон менее 10 кГц [3].

Одной из операций для восстановления сигнала в гидроакустическом канале связи является фильтрация низкочастотной помехи, которая может быть реализована путем приведения сигнала к одному уровню за счет вычитания медленно меняющейся огибающей из сигнала. Поиск этой огибающей является операцией, сходной с оптимальной фильтрацией. Рассмотрены следующие методы нахождения огибающей: скользящее среднее, фильтр Гаусса, одномерная сглаживающая сплайн-интерполяция, фильтр Савицкого-Голея и фильтр Калмана.

Для корректного построения огибающей необходимо подавление всплесков (представляющих либо высокочастотные шумы, либо сам сигнал), а также ее нахождение на фоновом уровне сигнала. С задачей подавления всплесков хорошо справляется скользящее среднее, фильтры Гаусса, Савицкого-Голея и Калмана. Одномерная сглаживающая сплайн-интерполяция не подавляет всплески, поэтому не подходит для построения огибающей.

Также важной характеристикой при построении огибающей является групповая задержка сигнала, особенно при использовании времяимпульсной модуляции. Фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры) имеют общую групповую задержку (N1)/2, где N – длина фильтра. К КИХ-фильтрам относятся скользящее среднее, фильтр Гаусса, фильтр Савицкого-Голея. В случае скользящего среднего и фильтра Савицкого-Голея N определяется размером окна. Для фильтра Гаусса задержка зависит от стандартного отклонения.

Фильтр Калмана не является КИХ-фильтром. Он относится к рекурсивным фильтрам, обрабатывает данные по мере их поступления. Задержка возникает за счет неправильно подобранных параметров Q и R – шума процесса и шума измерения. Шум процесса определяет доверие к изменчивости модели, влияет на адаптивность к резким изменениям. Шум измерения определяет доверие к наблюдениям: чем выше шум, тем меньше учитывается наблюдение. Корректный выбор параметров фильтра Калмана, в частности шума процесса и шума измерений, является ключевым фактором для эффективной фильтрации сигнала. Итак, фильтр Калмана подходит для обработки сигналов в режиме

реального времени, так как требуется знать только текущее и предыдущие значения сигнала.

На рисунке 1 изображены графики огибающих сигнала, построенных с помощью скользящего среднего, фильтра Гаусса, одномерной сглаживающей сплайн-интерполяции, фильтра Савицкого-Голея и фильтра Калмана. Из рисунка видно, что огибающая, построенная с помощью фильтра Калмана, быстрее других адаптируется под резкий рост сигнала справа на графике, и не вносит существенных искажений в информационную последовательность. Это позволяет сделать вывод о том, что фильтр Калмана обеспечивает наименьший сдвиг по времени и может эффективно использоваться для обработки сигналов гидроакустической связи.

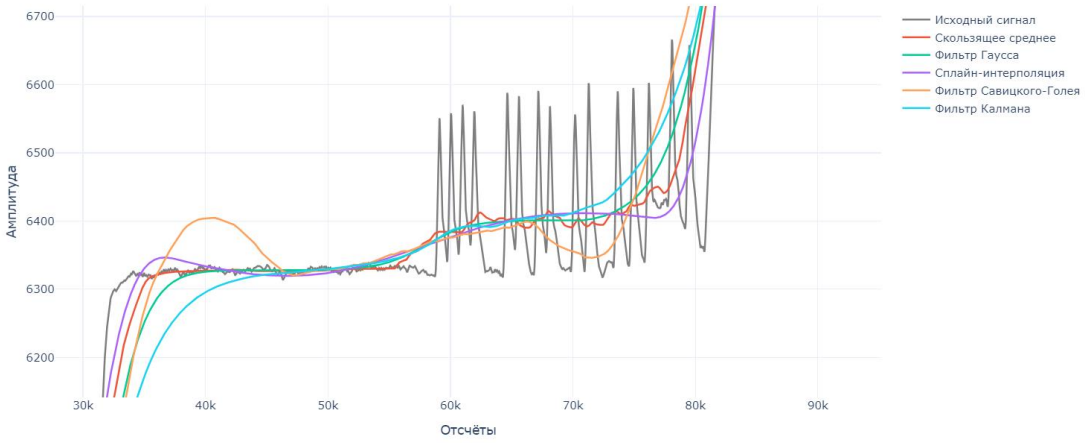


Рис. 1. Огибающие сигнала, построенные с помощью скользящего среднего, фильтра Гаусса, одномерной сглаживающей сплайн-интерполяции, фильтра Савицкого-Голея и фильтра Калмана

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li C., Xu Z. A Review of Communication Technologies in Mud Pulse Telemetry Systems: 18 // Electronics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023. Т. 12, № 18. С. 3930.
2. Study on model-based pump noise suppression method of mud pulse signal // Journal of Petroleum Science and Engineering. Elsevier, 2021. Т. 200. С. 108433.
3. Huang L.-F. и др. Underwater noise characteristics of offshore exploratory drilling and its impact on marine mammals // Front. Mar. Sci. Frontiers, 2023. Т. 10.

A STUDY OF SMOOTHING METHODS FOR UAC SIGNAL DENOISING

Antipova V.E, Voronkov G.S., Engalychev I.R.
(Ufa University of Science and Technology)

This paper presents an analysis of various smoothing methods for denoising mud pulse telemetry signals.

УДК 004.057.4

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО КОНТЕНТА

Якупов Д.О., Баженов А.Э., Карташевский И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В условиях стремительного роста объемов передаваемого мультимедийного контента и постоянного увеличения требований к качеству онлайн-трансляций возникает необходимость разработки современных систем потоковой передачи данных, обеспечивающих высокую производительность, низкие задержки и стабильность воспроизведения. Традиционные протоколы транспортного уровня, например TCP, имеет ряд ограничений, связанных с механизмами управления перегрузкой и подтверждениями доставки данных, что делает его работу малоэффективной в условиях нестабильных сетей. Используемый в некоторых решениях UDP решает проблему задержек, но не гарантирует стабильность передачи и может приводить к потерям данных, ухудшая качество потокового видео.

В рамках данной разработки будет создана программная система, предназначенная для адаптивной потоковой передачи мультимедийного контента в реальном времени. Основой решения является использование транспортного протокола QUIC, что позволяет сочетать низкие задержки, свойственные UDP, с надежностью и управляемостью, присущими TCP [1]. Система будет состоять из двух основных компонентов — серверной и клиентской части. Серверная часть позволяет выбирать видео для трансляции, а клиентская позволяет пользователю получать поток в браузере и воспроизводить его в режиме реального времени без предварительной загрузки видеофайлов [2].

Ключевой особенностью системы станет внедрение модуля предиктивной адаптации качества видеопотока. С помощью анализа сетевых параметров — таких как пропускная способность канала, уровень задержек, частота потерь пакетов — система будет прогнозировать возможные изменения состояния сети и автоматически регулировать качество передаваемого видео. Такой подход позволит минимизировать буферизацию и исключить резкие падения качества передаваемого видео, что особенно важно при передаче потоков в высоких разрешениях (FullHD, 4K).

Разработка предполагает создание платформенно-независимого решения, совместимого с основными современными браузерами и поддерживающего популярные форматы мультимедийных файлов (MP4, AVI, MKV и др.). Программное обеспечение будет обладать гибкой архитектурой, что позволит масштабировать систему, добавлять новые алгоритмы обработки потоков и интегрировать ее в существующие видеостриминговые платформы и корпоративные решения.

Ожидается, что внедрение ПО будет востребовано в сферах онлайн-кинотеатров, образовательных платформ, телемедицины, видеоконференцсвязи, видеонаблюдения и интерактивных трансляций. Использование протокола QUIC

и алгоритмов предиктивной адаптации позволит повысить качество передачи контента, сократить задержки и обеспечить стабильную работу системы даже в условиях перегруженных или нестабильных сетей.

Результатом станет готовое программное решение для адаптивной потоковой передачи мультимедийного контента, которое сможет быть интегрировано в различные отрасли и использоваться как самостоятельная система. Таким образом, разработка позволит обеспечить современный уровень качества видеоуслуг и повысить эффективность передачи мультимедиа в сетях нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якупов, Д. О. Работа с потоками данных в TCP и в QUIC / Д. О. Якупов // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024: Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара – С. 202-203.
2. Программное обеспечение для трансляции видео по протоколу QUIC [Электронный ресурс] / URL: https://quic.yakupovi.ru:8443 (дата обращения 04.09.2025)

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE STREAMING SYSTEM FOR MULTIMEDIA CONTENT

Yakupov D.O., Bazhenov A.E., Kartashevskiy I. V.
(Povolzsky State University of Telecommunications and Informatics)

This work focuses on the development of an adaptive streaming system for multimedia content aimed at ensuring stable and efficient video transmission over heterogeneous networks. The system dynamically adjusts the quality of the transmitted content based on current network conditions, minimizing delays and buffering while improving the user experience. The proposed solution leverages modern protocols and adaptive algorithms to optimize bandwidth usage and maintain seamless playback even under unstable network environments.

УДК 004.057.4

QUIC И UDP ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ВИДЕОПОТОКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Якупов Д.О., Карташевский И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Передача видеотрафика в реальном времени является одной из важных задач в современных сетях. Для успешной трансляции необходимо обеспечить высокую скорость передачи данных, минимальную задержку, устойчивость соединения и стабильное качество изображения и звука.

На протяжении многих лет, благодаря своей простоте, основной технологией для таких задач был протокол UDP (User Datagram Protocol). Однако с ростом требований к качеству потокового видео и безопасности данных всё большую популярность получает протокол QUIC (Quick UDP Internet Connections), разработанный Google и позднее стандартизированный IETF. QUIC объединяет преимущества UDP и надёжные механизмы управления соединением, характерные для TCP [1], что делает его современным и эффективным инструментом для передачи мультимедиа.

UDP работает по принципу отправил и забыл, не требует подтверждения доставки пакетов и не выполняет проверку их целостности. Такой подход позволяет минимизировать задержки и обеспечить максимально возможную скорость передачи данных. Благодаря этому UDP широко используется в приложениях, где своевременность получения данных важнее их полной сохранности: видеоконференции, VoIP-звонки, онлайн-игры и трансляции. Однако у UDP есть существенные ограничения: отсутствие встроенных механизмов шифрования, восстановления потерянных пакетов и адаптации к перегрузке сети. В условиях стабильного канала это не критично, но при высокой нагрузке, потере пакетов или изменении пропускной способности сети могут возникать серьёзные проблемы: задержки звука, ухудшение качества изображения и даже прерывания трансляции (рис. 1).

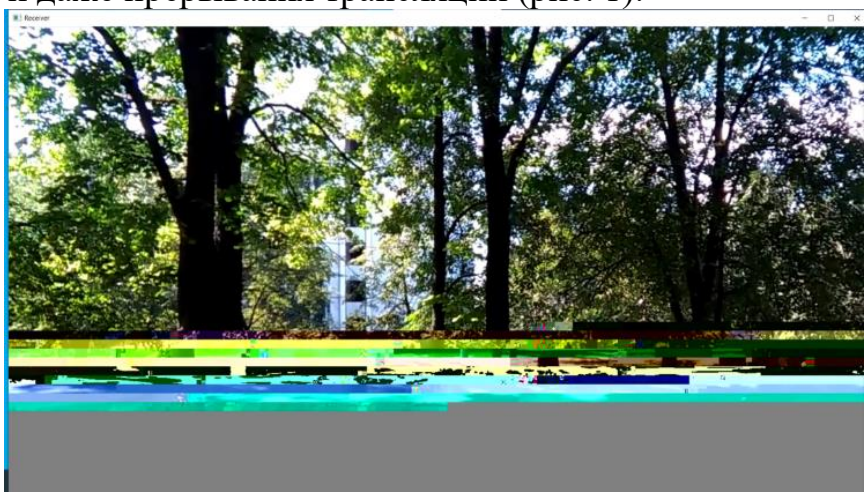


Рис. 1. Потери пакетов UDP при трансляции видео

QUIC, в отличие от UDP, был создан специально для решения этих проблем. Он использует UDP в качестве протокола транспортного уровня, но поверх него реализует собственные механизмы: встроенное шифрование на основе TLS 1.3, мультиплексирование [2] потоков, динамическое управление перегрузкой и восстановление потерянных пакетов. Все эти факторы делают протокол устойчивым к изменениям состояния сети и обеспечивают более стабильное качество видео даже при большом количестве потерь. Мультиплексирование позволяет передавать несколько независимых потоков данных в рамках одного соединения без взаимной блокировки. Кроме того, QUIC сокращает время установления соединения за счёт объединения процесса рукопожатия и шифрования данных, что уменьшает задержку отправки первого пакета.

В условиях стабильных сетей с минимальными потерями пакетов UDP может показывать лучшие результаты по скорости из-за отсутствия дополнительных проверок. Однако в реальных сценариях, особенно при высоких нагрузках, QUIC обеспечивает более высокий уровень передаваемых данных. Он позволяет избежать возникновение артефактов изображения, обеспечивает плавность воспроизведения и повышает защищённость передаваемых данных.

Таким образом, выбор между UDP и QUIC при передаче видеопотока в реальном времени зависит от конкретных условий сети и требований к качеству трансляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якупов, Д. О. Работа с потоками данных в TCP и в QUIC / Д. О. Якупов // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024 : Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара – С. 202-203.
2. Multiplexing and Demultiplexing in Transport Layer [Электронный ресурс] / URL: https://www.geeksforgeeks.org/multiplexing-and-demultiplexing-in-transport-layer/ (дата обращения: 04.09.2025).

QUIC AND UDP IN REAL-TIME VIDEO STREAMING

Yakupov D.O., Kartashevskiy I. V.
(Povolzsky State University of Telecommunications and Informatics)

This paper explores the use of QUIC and UDP protocols for real-time video streaming. It highlights the advantages and limitations of both approaches, focusing on factors such as latency, packet loss, transmission stability, and security. The study demonstrates that while UDP provides minimal delays, QUIC offers enhanced reliability, built-in encryption, and better adaptation to unstable network conditions, making it a more efficient solution for modern video streaming services.

УДК 004.8

МОДЕЛЬ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Красильников А.А., Сивков В.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современное судоходство требует не только высокой квалификации капитана и экипажа, но и поддержки со стороны интеллектуальных систем, способных учитывать динамику морской среды. Главным вызовом остаётся соблюдение Международных правил предотвращения столкновений судов (МПСС-72) [1], которые должны выполняться даже в условиях ограниченной видимости, высокой плотности трафика и человеческих ошибок. Использование методов машинного обучения позволяет создать алгоритмы, способные анализировать большие массивы навигационных данных и предлагать безопасные траектории движения.

Для обучения модели были использованы данные автоматической идентификационной системы (AIS), радарные измерения и архивы морских происшествий [3]. AIS предоставляет координаты, курс, скорость и тип судна в реальном времени, что делает её ключевым источником навигационной информации. Радарные данные позволяют компенсировать недостатки AIS, выявляя объекты без передатчиков или в условиях сбоев связи. Интеграция этих источников обеспечивает более полное представление о морской обстановке. Архитектура разработанной модели построена на сочетании современных методов глубокого обучения, направленных на анализ временных, категориальных и контекстных данных для оценки риска столкновения судов.

В основе разработанной системы лежит нейросетевая архитектура, включающая бидирекционные LSTM-слои [2], которые анализируют последовательности навигационных данных вперёд и назад во времени, формируя прогноз на основе истории движения. Дополнительным элементом служит механизм внимания, выделяющий ключевые временные интервалы, например резкие манёвры или ухудшение погодных условий. Слой эмбеддингов отвечает за учёт категориальных признаков, таких как тип судна или его маневренные характеристики. Завершающим компонентом является полносвязный классификатор, объединяющий результаты анализа временных рядов и категориальных данных. Такая комбинация позволяет модели работать с разнородной информацией и формировать прогноз вероятности столкновения в диапазоне от 0 до 1.

Для повышения точности использовалась функция потерь Focal Loss [4], позволяющая акцентировать внимание на редких, но критически важных случаях — инцидентах столкновения. Метод Teacher Forcing улучшал предсказания за счёт использования реальных исторических манёвров. Обучение проводилось на большом наборе данных с последующей валидацией и тестированием.

Разработанная модель продемонстрировала высокую точность прогнозирования, превысившую 98%. Для класса «риск столкновения» значение F1-score составило 0.93, что подтверждает сбалансированность точности и полноты. Задержка отклика при аппаратном ускорении не превышала 150 мс, что делает систему пригодной для применения в реальном времени без нарушения требований к скорости реакции.

Предложенная нейросетевая модель представляет собой эффективный инструмент для навигационного управления, обеспечивая высокую точность прогнозирования и соответствие международным стандартам безопасности. Её внедрение в практику позволит снизить влияние человеческого фактора и повысить надёжность мореплавания. Дальнейшие исследования будут направлены на уменьшение задержки прогноза и расширение набора учитываемых параметров, включая погодные и гидрологические условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море [Электронный ресурс]. https://goo.su/dymZl (дата обращения: 10.03.2025)
2. Long Short-Term Memory [Электронный ресурс]. https://gwern.net/doc/ai/nn/rnn/1997-hochreiter.pdf (дата обращения: 10.03.2025)
3. IMO GISIS. Global Integrated Shipping Information System. Международная морская организация. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://gisis.imo.org (дата обращения: 09.09.2025).
4. Focal loss for dense object detection [Электронный ресурс]. https://openaccess.thecvf.com/content_iccv_2017/html/Lin_Focal_Loss_for_ICCV_2017_paper.html (дата обращения: 15.03.2025)

A NEURAL NETWORK MODEL FOR NAVIGATION CONTROL

Krasilnikov A.A, Sivkov V.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper presents a neural network model for navigational control aimed at assessing collision risks in maritime traffic. The proposed approach is based on the analysis of heterogeneous navigational data, including vessel movement parameters and contextual information. The model supports decision-making in accordance with COLREGs-72 and is suitable for real-time application in complex marine environments.

УДК 004.93

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЁТА ДЕТАЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Ильметов К.А., Коняева О.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные производственные предприятия стремятся к максимальной автоматизации процессов, связанных с контролем и учётом выпускаемой продукции. В условиях массового производства особенно важной задачей является точный и оперативный подсчёт количества произведённых деталей. На практике учёт изделий часто ведётся вручную или с использованием простых устройств подсчёта, но подобные решения склонны к ошибкам и не позволяют формировать полную и объективную картину производственного процесса.

Для решения данной задачи предлагается система, обеспечивая автоматическое распознавание деталей в режиме реального времени, которая фиксирует результаты в базе данных и предоставляет доступ к статистике через пользовательский интерфейс. Архитектура включает следующие основные модули:

1. Модуль видеозахвата, обеспечивающий подключение к промышленным камерам и получение изображения в реальном времени.
2. Модуль детектирования объектов, в основе которого лежат алгоритмы глубокого обучения. Он выполняет распознавание деталей на видеопотоке и определяет их количество.
3. Алгоритм подсчёта и фильтрации, разработанный для исключения повторного учёта одной и той же детали. Для этого используется анализ траекторий движения объектов и ограничение по рабочей зоне камеры.
4. База данных SQLite, в которой сохраняются сведения о произведённых деталях: время фиксации, количество, рабочая смена, идентификатор камеры.
5. Пользовательский интерфейс, позволяющий оператору отслеживать производительность в реальном времени и формировать отчёты.

Программная реализация осуществляется на языке Python с использованием библиотек OpenCV (работа с видео, базовая обработка изображений) и PyTorch (работа с нейронными сетями). Такой подход позволяет учесть особенности освещения, конфигурацию рабочих мест и специфику самих деталей.

Для повышения точности подсчёта реализуется алгоритм фильтрации повторных детекций. Он основан на методе скользящего окна: объект учитывается только в случае, если он пересёк контрольную линию или покинул

рабочую область. Это решение снижает вероятность двойного подсчёта одной детали.

Ожидаемые результаты внедрения системы включают:

- сокращение трудозатрат на ручной учёт;
- снижение числа ошибок и исключение человеческого фактора;
- повышение прозрачности производственного процесса;
- возможность интеграции с ERP-системами предприятия и формирования статистических отчётов.

Таким образом, предложенная архитектура системы представляет собой комплексное решение для автоматизации учёта деталей в производственных условиях. В дальнейшем планируется расширение функционала системы за счёт внедрения методов предиктивной аналитики, что позволит не только фиксировать текущее количество деталей, но и прогнозировать производительность оборудования на основе собранных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брадски Г., Кэхлер А. Learning OpenCV 4: Computer Vision with Python // O'Reilly Media, 2020. – 700 с.

2. Лиу С., Ван Дж. Deep Learning with PyTorch // Packt Publishing, 2020. – 400 с.

3. Гуц А. В. PostgreSQL 13. Основы языка SQL и администрирование // ДМК Пресс, 2021. – 368 с.

SOFTWARE ARCHITECTURE OF AN AUTOMATED PARTS COUNTING SYSTEM IN MANUFACTURING BASED ON MACHINE VISION

Ilmetov K.A., Konyaeva O.S.

(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Modern manufacturing enterprises strive for maximum automation of processes related to the monitoring and accounting of produced items. In the context of mass production, an especially important task is the accurate and timely counting of manufactured parts. In practice, item accounting is often performed manually or with the use of simple counting devices, but such approaches are prone to errors and do not provide a complete and objective picture of the production process.

УДК 519.22:53:004.056

КЛАВИАТУРНЫЙ ПОЧЕРК В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ

[1]Иванов А.И.,[2]Пятин В.Ф., [2]Захаров А.В.
[2]Антипова Т.А., [1]Пичугина П.Г., [3]Кисляев А.С.,
[1]Горбаченко В.И.,[3]Хуснуллина Ю.А.
([1]Пензенский государственный университет,[2]Самарский государственный медицинский университет ,[3]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Клавиатурный почерк (КП) представляет собой перспективную динамическую биометрическую характеристику, основанную на индивидуальных паттернах взаимодействия пользователя с клавиатурой [4]. Его распознавание с применением нейросетевых технологий открывает новые горизонты в области биометрической криптографии и безопасной аутентификации. КП формируется уникальной совокупностью ритмико-динамических параметров, таких как временные интервалы между нажатиями клавиш и длительность их удержания. Эти параметры отражают как когнитивный темп работы, так и моторно-физиологические особенности индивидуума (резкость или плавность нажатий), что обеспечивает высокую стабильность и идентифицируемость признака [2, 4].

В основе нейрофизиологического механизма формирования КП лежат процессы, ассоциированные с феноменом внутренней речи [5]. Этот процесс, являющийся результатом интериоризации языковых структур в онтогенезе, формирует особую когнитивную архитектуру [3]. Даже при отсутствии явной вербализации происходит непрерывная речевая обработка сенсорно-моторных актов, что находит своё отражение в специфике клавиатурного ввода [5].

Для эффективной обработки столь сложных биометрических данных в машинном обучении предлагаются усовершенствованные модели искусственных нейронов. Так, сравнительный анализ показывает, что переход от традиционных бинарных нейронов к троичным (Q-арным) позволяет на несколько порядков сократить размер нейросетевой архитектуры при сохранении точности классификации [1]. Это приводит к пропорциональному снижению энергопотребления и требований к вычислительным ресурсам, что критически важно для аппаратных реализаций систем безопасности [1]. Численное моделирование, например, в среде MathCAD, демонстрирует эффективность подобных моделей при использовании статистических критериев, аналогичных χ^2 и критерию четвёртого момента [1].

Практическая идентификация по КП реализуется через два основных подхода: аутентификацию по фиксированной ключевой фразе или по произвольному тексту [2]. Для обработки сигналов в таких биометрических системах предлагается концепция «нейромодемов», предполагающая комплексную модуляцию (как частотную, так и амплитудную) передаваемых данных [1]. Это создаёт аппаратно-программную основу для

психофизиологического обоснования метода, связывая техническую реализацию с механизмами внутренней речи [1, 5].

Таким образом, клавиатурный почерк, анализируемый с помощью advanced-нейросетевых моделей (таких как троичные нейроны), представляет собой многообещающее направление на стыке биометрии, машинного обучения и нейронаук. Он обеспечивает неинвазивный, непрерывный и высоконадёжный метод аутентификации, глубоко укоренённый в индивидуальных когнитивных процессах пользователя [3, 4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчихин В.И., Иванов А.И., Иванов А.П., Савинов К.Н. Простой метод экспериментальной оценки показателя Q-арности естественных нейронов: сравнение потенциала троичных и бинарных искусственных нейронов по энергопотреблению и потребностям в памяти // Защита информации. Инсайд. 2025. № 5(125). С. 84–90.

2. Шарипов Р.Р. Разработка полигауссового алгоритма аутентификации пользователей в телекоммуникационных системах и сетях по клавиатурному почерку: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.12.13. Казань, 2006. 16 с.

3. Кружилина Т.В. Внутренняя речь при вербальной интерференции // Вопросы психолингвистики. 2023. № 4 (58). С. 94-108.

4. Рудаков О.М. Метод биометрической аутентификации, основанный на анализе клавиатурного почерка // Молодой ученый. 2016. № 11 (115). С. 448-451.

5. Соколов Н.И., Соколов А.Н. Внутренняя речь и мышление. М.: URSS, 2007. 248 с.

KEYBOARD HANDWRITING IN MACHINE LEARNING

[1]Ivanov A.I., [2] Pyatin V.F., [2]Zakharov A.V. [2]Antipova T.A., [1]Pichugina P.G., [3]Kislyaev A.S., [1]Gorbachenko V.I., [3]Husnullina Y.A.

([1]Penza State University, [2]Samara State Medical University, [3]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The proposed variant of the neurophysiological mechanism for keyboard handwriting formation may be interpreted as an internal speech process of a person. It is recommended to utilize a method for evaluating the Q-ary index of neuronal logic based on data available to researchers.

УДК 004.921

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ РЕНДЕРИНГА

Рябов П.А., Коняева О.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Основной задачей в данной работе является проведение анализа факторов и условий, влияющих на время рендера с точки зрения характеристик 3D сцены, и характеристик компьютерных комплектующих. Что может послужить к созданию системы подбора оборудования для услуг обычного вычисления на основе конкретных данных задачи.

Основные факторы, влияющие на время рендера: сложность сцены (полигоны, текстуры, освещение и т.д.), алгоритм рендера, вычислительная мощность (CPU/GPU, количество ядер, тактовая частота, объем кэш памяти и т.д.).

В специализированном программном обеспечении оценочное время рендера рассчитывается эмпирически. Замеряется среднее время формирования одного кадра, и, на основе этого, экстраполируется общее время. Можно представить в виде формулы [1]:

$$T_{\text{итог}} = \left(\frac{\text{T}_{\text{прошло времени}}}{N_{\text{готовых кадров}}} \right) \cdot N_{\text{всего кадров}} \qquad (1)$$

К вопросу оценки времени можно подойти как с применением линейной модели, так и с нелинейной. Линейная более простая и подходи для быстрой оценки. Она может не учитывать некоторые особенности системы, будь то учет памяти или особенности движка. Нелинейная в свою очередь учитывает больше данных о системе и сцене. Вследствие чего является более релевантной [2].

Примером линейной модели может быть следующая формула, применяющаяся в калькуляторе для расчета стоимости рендера:

$$\text{Render Time} = \frac{\text{Scene Complexity Factor} \cdot \text{Number of Frames} \cdot \text{Output Resolution}}{\text{CPU Speed} \cdot \text{Number of CPU Cores} \cdot \text{GPU Rendering Speed}}, \qquad (2)$$

где: Scene Complexity Factor − числовое значение, представляющее сложность 3D-сцены с учётом количества объектов, материалов, освещения и других визуальных эффектов; Number of Frames − общее количество кадров; Output Resolution – разрешение конечного изображения или видео, обычно выражаемое в пикселях (например, 1920×1080); CPU Speed − тактовая частота центрального процессора (CPU) в гигагерцах (ГГц); Number of CPU Cores − количество ядер процессора в центральном процессоре; GPU Rendering Speed − производительность рендеринга графического процессора (GPU).

Для нелинейном формулы необходимо определить какие параметры сцены влияют на время рендера: количество полигонов; сложность материалов (отражающие поверхности требуют большей вычислительной мощности); освещение (количество источников света, их типы и сложность взаимодействия

со сценой. например, мягкие тени); глубина трассировки лучей (сколько раз луч может отражаться или преломляться); объемные эффекты, волюметрика; камера (глубина резкости, эффекты блюра); разрешение; сложность текстур (процедурные текстуры могут увеличивать время загрузки и рендеринг шейдеров) [3].

Тогда общая формула для расчёта времени рендера будет выглядеть следующим образом:

$$T_f = \frac{1}{P} \cdot \left(c_1 G + c_2 N_v + c_3 S \cdot N_p + c_4 D \cdot S + c_5 \cdot L + c_6 V + c_7 M \cdot N_p + c_8 C \cdot N_p \cdot S\right), \quad (3)$$

где $c_1 G$ − время на обработку геометрии (CPU/GPU); $c_2 N_v$ − время на трансформации вершин; $c_3 S \cdot N_p$ − шейдинг фрагментов; $c_4 D \cdot S$ − влияние глубины трассировки лучей; $c_5 \cdot L$ − обработка источников света; $c_6 V$ − волюметрические эффекты; $c_7 M \cdot N_p$ − сложные материалы зависящие от площади; $c_8 C \cdot N_p \cdot S$ − эффекты камеры. Все коэффициенты подбираются по замерам, для этого берется 2-4 эталонные сцены. Переменная P представляет из себя нелинейную модель для вычисления производительности системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D Render Time Calculator [Электронный ресурс] / URL: https://calculator-cloud.com/everydaylife/3drendertime/index.html (дата обращения: 12.07.2025).
2. Звонарев С.В. Основы математического моделирования. - Учебное пособие изд. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. - 112 с.
3. Гонахчян В.И. Модель производительности графического конвейера для однопроходной схемы рендеринга динамических трехмерных сцен // Труды ИСП РАН. - 32:4, 2020. - С. 53-72.

REQUIREMENTS FOR THE DESIGN OF THE ABSTRACTS OF THE REPORT

Ryabov P.A., Konyaeva O.S.,
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article primarily focuses on analyzing the factors and conditions influencing render time from the perspective of 3D scene characteristics and computer hardware specifications. This analysis can serve as a foundation for creating a system to select appropriate hardware for render farming services, based on the specific parameters of a given computational task.

УДК 004.773

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МОДУЛЕМ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Лиманова Н.И., Заводянный Д.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С каждым днем цифровизация во всех сферах общественной деятельности набирает обороты в связи с увеличением объемов обрабатываемой информации. Общество постепенно становится информационным, а, значит, и образовательная деятельность приобретает черты цифровизации. На этом этапе возникают вопросы, связанные с информатизацией учебного процесса.

Исходя из того, что информационная система для образовательной организации не должна зависеть от местонахождения ресурса, было выбрано решение, касающееся её реализации в виде web-приложения. Такой выбор был обоснован тем, что обучающиеся и преподаватели могут находиться в удалении от места работы (учебы). Концепция удаленного доступа к образовательному ресурсу обуславливается также тем, что в силу стечения обстоятельств субъекты учебного процесса не могут присутствовать в образовательном учреждении по определенным причинам [1].

Одним из методов использования информационных ресурсов в образовании является применение чат-ботов, работающих на платформе Telegram. Такой подход удобен тем, что нужные источники информации находятся на одном ресурсе и не требуют дополнительной регистрации на сторонних порталах. Обучающиеся могут проверить свою успеваемость, посещаемость, скачать методические материалы для лабораторных и практических работ.

В Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики на кафедре информационных систем и технологий разработан и внедрен в учебный процесс чат-бот, позволяющий студентам быстро получать доступ к учебным материалам, объявлениям от преподавателей, а также к информации о своей успеваемости.

Приведем пример получения студентом сведений о количестве сданных работ преподавателю по выбранной дисциплине.

Для выгрузки успеваемости обучающийся должен передать чат-боту свой уникальный номер в системе. Получить его можно как через систему бота, указав свои данные (фамилию, имя, отчество и группу, в которой обучается), так и обратившись к преподавателю. На встроенной в чат-бот клавиатуре студент нажимает на кнопку «Успеваемость». Робот, получив команду, запрашивает у пользователя его ID, курс, факультет, номер группы. Также бот предоставляет клавиатуру с кнопками, указывающие определенные дисциплины, после чего выдает подробную информацию по запросу. На рисунке 1 показан пример получения студентом информации о сданных лабораторных работах.

Рис. 1. Выгрузка успеваемости обучающегося

Таким образом, разработанная система с интегрированным чат-ботом прошла апробацию на кафедре ИСТ ПГУТИ, используется для проведения лабораторных и практических занятий, что позволяет вести непрерывный образовательный процесс, организовывать связь между преподавателями и обучающимися, в том числе в дистанционном режиме, что способствует повышению эффективности обучения [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лиманова Н.И. особенности преподавания дисциплины «Разработка интеллектуальных мобильных приложений и чат-ботов» // Материалы X Российской научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. С. 73 – 74.
2. Лиманова Н.И., Заводянный Д.А. Автоматизированная информационная система для цифровизации учебного процесса // Актуальные проблемы высшего образования в области инфокоммуникационных технологий: материалы XII Российской научно-методической конференции. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. С. 91.

INFORMATION SYSTEM WITH INTEGRATED CHATBOT MODULE FOR DIGITALIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Limanova N.I., Zavodyanniy D.A.
Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

The paper discusses the possibility of using chatbots in educational activities that are interconnected with information systems, as well as direct access to databases containing information about the educational process and methodological materials.

УДК 004.77

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАФИКА И ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ

Лиманова Н.И., Янгазов И.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Корпоративным сетям современных университетов ежедневно приходится обрабатывать большие объемы данных, которые могут содержать в себе информацию, являющуюся государственной тайной, либо корпоративной интеллектуальной собственностью, в связи с чем они требуют эффективной защиты и постоянного мониторинга. Возрастание объемов анализируемых данных приводит к увеличению рисков сетевых атак и нарушениям в сфере информационной безопасности. Традиционные подходы к мониторингу становятся неэффективными, так как они не способны оперативно реагировать на современные угрозы, такие как целенаправленные атаки, фишинг и DDoS-атаки. Применение технологий машинного обучения открывает возможность автоматического анализа сетевого трафика, что существенно повышает качество обнаружения угроз и уменьшает нагрузку на системных администраторов и сотрудников отдела информационной безопасности.

Предлагаемая система предназначена для увеличения уровня защиты корпоративных сетей университета. Она позволяет получать данные о загруженности каналов связи, объёме переданной информации и других показателях работы оборудования. В основе работы системы лежит стандартный протокол мониторинга SNMP, который предназначен для сбора статистических данных о производительности и состоянии сетевых устройств. Используется также протокол NetFlow. Данный протокол, разработанный компанией Cisco Systems, предназначен для записи информации о проходящих через маршрутизаторы потоках данных. Он предоставляет детализированные сведения о сеансах передачи данных, включая IP-адреса отправителя и получателя, порты, количество переданной информации и длительность сессии. Данные протоколы обеспечивают сбор необходимых данных для их последующего анализа: объемы передаваемой информации, частоту обращений к ресурсам, адреса отправителей и получателей пакетов.

Собранные данные используются для обучения модели. На данном этапе формируется профиль «нормального» поведения сети. Модель тренируется на исторических данных о трафике, классифицируя его на «нормальный» и «аномальный». Важнейшими задачами являются определение границ между типичными и отклоняющимися данными, минимизация ошибок первого рода («ложноположительные») и второго рода («ложноотрицательные»). Методы, используемые для обучения моделей, включают алгоритмы кластеризации (например, k-means), методы уменьшения размерности (PCA, t-SNE), модели случайного леса и градиентного бустинга. Модель настраивается для

оптимального баланса между чувствительностью к аномальным событиям и устойчивостью к шумовым данным.

После завершения этапа обучения проводится тестирование системы в условиях реальной эксплуатации. Этот этап предусматривает выполнение ряда тестов, направленных на проверку точности и надежности функционирования, где оцениваются ключевые параметры: точность классификации или доля корректно распознанных аномальных событий относительно общего числа зарегистрированных случаев, количество ложных срабатываний, скорость реакции или время, необходимое системе для идентификации. Для оценки эффективности системы используются специализированные инструменты: платформы имитации сетевых атак (Cymulate, Metasploit), автоматизированные системы генерации трафика (Traffic Generator), инструменты проверки производительности (JMeter). Эти средства помогают воссоздать реальные условия эксплуатации и оценить производительность системы при различных сценариях нагрузки и возникновении угроз. Применение машинного обучения в процессе анализа сетевого трафика и обнаружения аномалий существенно усиливает защиту сетей, экономя ресурсы и повышая общий уровень защищённости инфраструктуры.

Предлагаемое решение демонстрирует значительный потенциал для дальнейшей разработки и использования в разных университетах. Будущие направления исследования предполагают интеграцию дополнительных механизмов самообучения и предиктивной аналитики возможных угроз. Таким образом, представленная система становится действенным инструментом для укрепления цифровой безопасности университетов.

USING MACHINE LEARNING TO ANALYZE TRAFFIC AND DETECT ANOMALIES IN CORPORATE NETWORKS

Limanova N.I., Yangazov I.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper discusses the importance of using machine learning techniques to improve the security of corporate networks in universities. It presents a three-stage program involving data collection, model training and implementation testing aimed at enhancing threat detection capabilities and reducing administrative burden.

УДК 004.45

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ НЕИЗВЕСТНОГО УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩЕГО ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS RTU

Антошкин Е.А., Лиманова Н.И.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для работы на промышленном оборудовании необходимы специальные устройства — программируемые логические контроллеры (ПЛК), или подобные им по функционалу комплексы. Практически все такие устройства работают по протоколу MODBUS. Данный протокол зарекомендовал себя как достаточно надежный для управления промышленным оборудованием. Основные достоинства протокола MODBUS заключаются в высокой степени отказоустойчивости и простой реализации, возможности подключения на одну линию большого количества устройств и низкие требования к их вычислительным возможностям. В ряде случаев на производстве возникает необходимость работать с устройством, о котором не известно ничего, кроме того, что оно поддерживает данный протокол. Для решения подобных задач существуют специалисты — реверс-инженеры, однако их услуги весьма дорогостоящи и требует большого количества времени и высокой профессиональной подготовки. Найти такого специалиста тоже достаточно непросто, так как реверс-инженер должен быть «универсальным солдатом»: знать не только программную, но и аппаратную часть контроллера, уметь правильно выстраивать взаимодействие между системами «на низком уровне».

Исходя из того, что протокол MODBUS RTU работает только по проводному соединению, необходимо разрабатывать программную систему на сравнительно низком уровне. В качестве языка программирования, отвечающего этим требованиям, был выбран C++. Еще одним аргументом в пользу данного выбора является то, что под этот язык уже разработан ряд хороших библиотек, в которых реализован весь необходимый функционал «низкого уровня» для работы по протоколу MODBUS RTU.

Назначение предлагаемого программного обеспечения состоит в том, чтобы ускорить и автоматизировать поиск параметров соединения с неизвестным устройством.

Для начала работы системы необходимо осуществить физическое подключение определяемого устройства к компьютеру. Это делается при помощи com-порта компьютера. Если устройство работает только по витой паре, необходим специальный переходник. Для безопасности определяемое устройство должно быть выведено из технологического процесса. То есть, устройство должно быть подключено только к линии питания и к компьютеру. Это необходимо для того, чтобы при поиске параметров подключения случайно не навредить текущему технологическому процессу, так как некоторые регистры

контроллера при переборе вариантов соединений могут потерять свои значения и «сбить» процесс.

На рис. 1 представлен интерфейс главного окна разработанного приложения «АТОМ» для автоматического определения параметров настройки неизвестного устройства, работающего по протоколу MODBUS RTU.

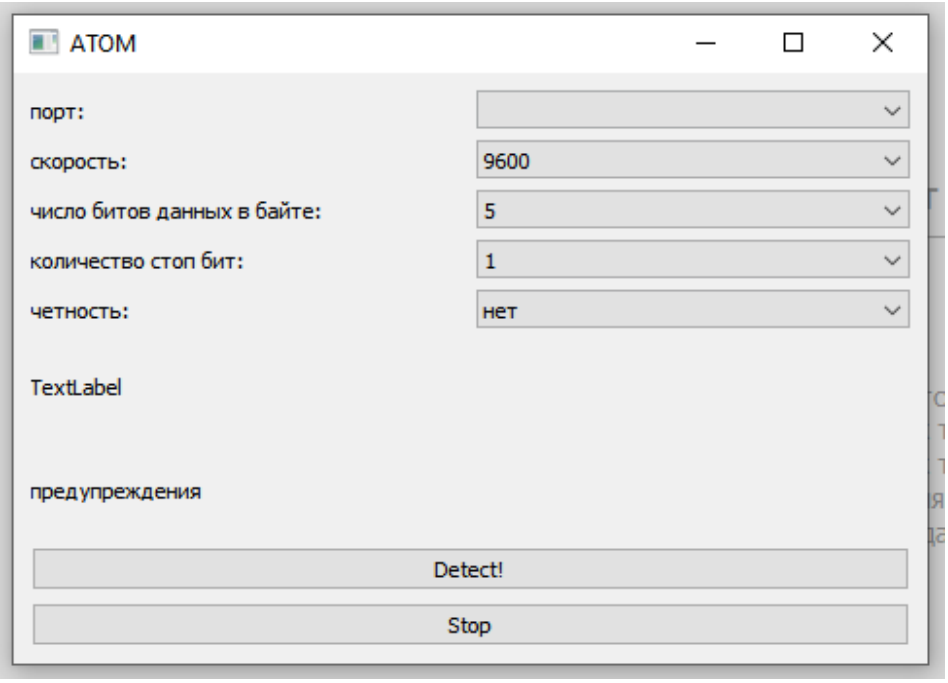


Рис. 1. Главное окно программы

Таким образом, разработанное приложение «АТОМ» автоматизирует процесс поиска параметров соединения с устройством по протоколу MODBUS RTU. Прямых аналого данного программного обеспечения в настоящее время не существует. С помощью данной программы многократно ускоряется процесс поиска параметров соединения с устройством, что позволяет повысить качество работы и снизить нагрузку на реверс-инженеров.

APPLICATION FOR AUTOMATIC DETERMINATION OF SETTING PARAMETERS AND A TABLE OF AN UNKNOWN DEVICE OPERATING UNDER THE MODBUS RTU PROTOCOL

Antoshkin E.A., Limanova N.I.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper discusses the program for reverse engineering devices that support the MODBUS RTU communication protocol.

УДК 004.942

ВЛИЯНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ТРАФИКА НА ПАРАМЕТРЫ QoS В ПРОГРАММИРУЕМЫХ СЕТЯХ

Буранова М.А., Карташевский В.Г.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одной из актуальных задач в области инфокоммуникаций остается задача обеспечения параметров качества обслуживания на требуемом уровне. Ранее в работах [1-4] достаточно подробно была рассмотрена данная проблема как для случаев обработки простейших потоков, так и для потоков, обладающих фрактальными свойствами. При этом в [4,5] были предложены аналитические модели, учитывающие корреляцию.

Остается проблема, связанная с необходимостью получения более простых и точных аналитических выражений, позволяющих оценить параметры качества обслуживания таких как задержка, вариация задержки и вероятность потерь пакетов. Одним из возможных решений данной задачи может быть использование двумерной характеристической функции $G_{SC}(u,v)$ коррелированных случайных величин $W_{(S)}$ и $W_{(C)}$

$$G_{SC}(u,v) = e^{-\theta_{11}uv} G_S(u) G_C(v)$$

где $G_S(u)$ и $G_C(v)$ – одномерные характеристические функции случайных величин $W_{(S)}$ и $W_{(C)}$, корреляцию которых определяет совместный кумулянт θ_{11}, а коэффициент корреляции – $R = \dfrac{\theta_{11}}{\sigma_S \sigma_C}$ (σ_S^2, σ_C^2 - дисперсии соответствующих распределений).

В [5] были получены выражения для характеристических функций распределений для традиционно используемых в таких моделях случайных интервалов времени между пакетами и длительностями пакетов

$$G_S(u) = p\frac{\delta_1}{\delta_1 - iu} + (1-p)\frac{\delta_2}{\delta_2 - iu}, \quad G_C(v) = g\frac{\delta_{(C)1}}{\delta_{(C)1} - iv} + (1-g)\frac{\delta_{(C)2}}{\delta_{(C)2} - iv},$$

где $i^2 = -1$.

После выполнения вычислений выражение для плотности вероятностей $f_{SC}(y)$ можно записать в виде

$$f_{SC}(y) = k_1 e^{\theta_{11}\delta_1^2} e^{-\delta_1 y} + k_2 e^{\theta_{11}\delta_2^2} e^{-\delta_2 y} + k_3 e^{\theta_{11}\delta_{(C)1}^2} e^{-\delta(C)_1 y} + k_4 e^{\theta_{11}\delta_{(C)2}^2} e^{-\delta_{(C)2} y}, \quad (1)$$

где

$$k_1 = \frac{pg\delta_1\delta_{(C)1}}{\delta_{(C)1}-\delta_1} + \frac{p(1-g)\delta_1\delta_{(C)2}}{\delta_{(C)2}-\delta_1}, \quad k_2 = \frac{(1-p)g\delta_2\delta_{(C)1}}{\delta_{(C)1}-\delta_2} + \frac{(1-p)(1-g)\delta_2\delta_{(C)2}}{\delta_{(C)2}-\delta_2},$$

$$k_3 = \frac{pg\delta_1\delta_{(C)1}}{\delta_1-\delta_{(C)1}} + \frac{(1-p)g\delta_2\delta_{(C)1}}{\delta_2-\delta_{(C)1}}, \quad k_4 = \frac{p(1-g)\delta_1\delta_{(C)2}}{\delta_1-\delta_{(C)2}} + \frac{(1-p)(1-g)\delta_2\delta_{(C)2}}{\delta_2-\delta_{(C)2}}.$$

Из (1) можно получить выражение для плотности вероятностей

$$w_{(S,C)i}(u) = (1-q)\left(p\delta_1 e^{-\delta_1 u} + (1-p)\delta_2 e^{-\delta_2 u}\right) + \\ + \frac{q}{K}\left[\begin{array}{l} k_1 e^{\theta_{11}\delta_1^2} e^{-\delta_1 u} + k_2 e^{\theta_{11}\delta_2^2} e^{-\delta_2 u} + \\ + k_3 e^{\theta_{11}\delta_{(C)1}^2} e^{-\delta_{(C)1} u} + k_4 e^{\theta_{11}\delta_{(C)2}^2} e^{-\delta_{(C)2} u} \end{array}\right], \quad (2)$$

где $K = \int_{-\infty}^{\infty} f_{SC}(y)dy$ - нормировочная константа.

Из (2) можно достаточно легко найти выражения для определения средней задержки пакета и вариации задержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buranova M. Calculation of packet jitter for correlated traffic / I. Kartashevskiy, M. Buranova / В сборнике: Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. С. 610-620.

2. Kartashevsky V. The numerical method for analysis of arbitrary type queuing systems application / V. Kartashevsky, N. Kozyreva, I. Makarov / В сборнике: 2016 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2016 - Proceedings. 3. 2016. С. 109-111.

3. Буранова М.А. Анализ параметров функционирования программно-конфигурируемой сети на основе протокола OpenFlow / М.А. Буранова, В.Г. Карташевский, А.С. Мутханна / Электросвязь. 2022. № 4. С. 2-7.

4. Анализ влияния корреляции трафика на характеристики функционирования узла SDN По протоколу Open Flow Буранова М.А., Карташевский В.Г. T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. № 3. С. 19-26.

INFLUENCE OF TRAFFIC CORRELATION ON QoS PARAMETERS IN PROGRAMMABLE NETWORKS

Buranova M.A., Kartashevskiy V.G.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

An analytical model of the functioning of an SDN node is presented, taking into account the possible correlation of time intervals between packets in the switch and the controller of the SDN node.

УДК 004.93

РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Ананьев З.Ю., Диязитдинов Р.Р.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Бурное развитие технологий связи, включая стандарты 5G-Advanced и 6G, требует применения сложных видов модуляции, таких как высокопорядковая квадратурная амплитудная модуляция (QAM-16, QAM-32, QAM-64), для повышения пропускной способности каналов. Это, в свою очередь, создает вызов для систем радиочастотного мониторинга, спектрального анализа и обеспечения безопасности, где необходимо оперативно и точно идентифицировать тип сигнала в условиях сильных шумов и помех. Традиционные алгоритмы распознавания, основанные на анализе статистических моментов, демонстрируют недостаточную эффективность для решения данной задачи, что обуславливает актуальность разработки новых методов на основе искусственного интеллекта [1].

Целью данного проекта является разработка и экспериментальная оценка точности модели на основе рекуррентной нейронной сети (РНН) для автоматического распознавания видов модуляции QAM-16, QAM-32 и QAM-64.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– смоделировать датасет сигналов с модуляциями QAM-16, QAM-32, QAM-64 с варьированием отношения сигнал/шум (ОСШ) в широком диапазоне (0–20 дБ);

– спроектировать архитектуру рекуррентной нейронной сети, оптимально для обработки временных последовательностей IQ-отсчетов;

– реализовать модель на одном из фреймворков глубокого обучения (TensorFlow, PyTorch) и провести ее обучение на синтезированных данных;

– провести всестороннее тестирование обученной модели, оценить точность классификации на каждом из целевых классов и проанализировать характер ошибок.

В основе методологии лежит применение рекуррентной нейронной сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM). Выбор LSTM обоснован ее способностью улавливать долговременные временные зависимости в последовательностях данных, что критически важно для анализа сигналов во времени.

План работы включает следующие этапы:

Этап 1 (моделирование данных): генерация размеченного датасета. Каждый экземпляр данных будет представлять собой массив синфазной (I) и квадратурной (Q) компонент сигнала, прошедшего через канал с АБГШ.

Этап 2 (проектирование модели): будет исследована архитектура, включающая входной LSTM-слой для извлечения временных метрик и один или

несколько полносвязных слоев для классификации. В качестве функции активации на выходном слое планируется использовать softmax.

Этап 3 (обучение и валидация): датасет будет разделен на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Для обучения будет применяться оптимизатор Adam и функция потерь категориальная кросс-энтропия. Процесс обучения будет контролироваться для предотвращения переобучения.

Этап 4 (тестирование и анализ): итоговая оценка точности модели будет проводиться на тестовой выборке, не участвовавшей в обучении. Анализ результатов будет включать построение матрицы ошибок для выявления классов, наиболее склонных к ошибкам.

Предполагается, что разработанная LSTM-модель продемонстрирует высокую точность (более 90% при ОСШ > 10 дБ) распознавания заданных видов модуляции QAM, превзойдя по точности традиционные методы в условиях низкого ОСШ.

Научная новизна проекта заключается в адаптации и исследовании эффективности рекуррентных архитектур специально для задачи классификации высокопорядковых QAM-сигналов.

Реализация данного проекта позволит создать эффективный инструмент для решения актуальной задачи радиочастотного анализа. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем связи, когнитивных радио и систем обеспечения информационной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев В.И., Трусевич Н.П. Методы модуляции-демодуляции радиосигналов в системах передачи цифровых сообщений. // М.: Инсвязьиздат, 2009. – 291 с.

RECOGNITION OF TYPES OF SIGNAL MODULATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Ananiev Z.Y. Diyazitdinov R.R.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The rapid development of communication technologies, including 5G-Advanced and 6G standards, requires the use of complex types of modulation, such as high-order quadrature amplitude modulation (QAM-16, QAM-32, QAM-64), to increase channel throughput. Traditional recognition algorithms based on the analysis of statistical moments demonstrate insufficient efficiency for solving this problem, which determines the urgency of developing new methods based on artificial intelligence.

УДК 621.376.9

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КВАДРАТУРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Сидоренко А.А., Диязитдинов Р.Р.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современных телекоммуникационных системах важной задачей остается надежное декодирование сигналов при наличии шума, ограниченной полосы канала и растущих требований к пропускной способности. Для обеспечения высокого качества передачи информации требуется баланс между точностью восстановления сигнала, вычислительной сложностью и задержкой обработки. В случае использования дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции (DQPSK) от выбранного алгоритма декодирования напрямую зависят такие ключевые параметры, как вероятность ошибки, скорость работы при аппаратной или программной реализации, а также ресурсоемкость конечного устройства.

Особое внимание уделяется сравнению когерентных и некогерентных методов приема. Когерентные методы обеспечивают более низкий уровень ошибок за счет точной синхронизации по фазе, но предъявляют высокие требования к устойчивости опорного сигнала и усложняют реализацию. Некогерентные подходы проще с точки зрения аппаратных затрат и меньше зависят от дрейфа фазы, однако обычно сопровождаются увеличением вероятности ошибки. Дополнительно анализируются алгоритмы максимального правдоподобия, обеспечивающие теоретически оптимальное декодирование, и более простые эвристические решения, которые выгодны в системах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Исследование проводится с применением моделирования передачи в условиях аддитивного белого гауссова шума, а также с учетом многолучевого распространения, характерного для мобильных и спутниковых каналов. При этом планируется оценка алгоритмов по вероятности ошибки на бит (BER), времени обработки одного кадра и устойчивости к фазовым и амплитудным искажениям канала. Отдельное внимание будет уделено влиянию скорости движения приемника и доплеровского сдвига, так как эти факторы существенно влияют на фазовую стабильность сигнала.

Практическая ценность работы заключается в выборе наиболее рационального метода декодирования, обеспечивающего устойчивую работу систем передачи в реальном времени при ограниченных ресурсах. Полученные результаты могут быть применены при проектировании мобильных сетей связи пятого и шестого поколений, а также в спутниковых каналах, где использование DQPSK способствует повышению спектральной эффективности и снижению чувствительности к фазовым ошибкам. Такой подход позволит оптимизировать схемы обработки сигналов, уменьшить требования к аппаратной базе и повысить надежность связи в сложных радиосредах.

STUDY OF DECODING ALGORITHMS FOR TRANSMISSION SYSTEMS WITH DIFFERENTIAL QUADRATURE MODULATION

Sidorenko A.A., Diyazitdinov R.R.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A major issue in digital communications is maintaining reliable decoding when bandwidth is limited and noise is present. In systems using Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK), the choice of decoding method directly affects both the bit error rate and the required processing effort. This paper looks at coherent and non-coherent reception, comparing maximum-likelihood approaches with simpler methods. The analysis focuses on how these algorithms perform in channels affected by additive white Gaussian noise and multipath propagation. The study aims to find a solution that works reliably in real time while keeping delay and power use low. Results will show how the different methods compare in terms of bit error rate, processing speed, and resistance to channel distortions, helping guide the design of mobile and satellite communication systems.

УДК 621.39:004.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЙ СЕТЕЙ ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ: МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Евстафьева В.А., Петрякова В.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные задачи проектирования сетей фиксированной связи требуют учёта множества факторов: географического расположения узлов, стоимости прокладки каналов, требований к пропускной способности и отказоустойчивости. Ручное построение топологий становится неэффективным при увеличении масштаба сети, что обуславливает необходимость разработки специализированного программного обеспечения, способного автоматизировать и оптимизировать этот процесс.

Предлагаемое программное решение нацелено на поддержку проектировщиков на этапе формирования начальной топологии сети. Оно позволяет импортировать исходные данные — координаты узлов и существующей инфраструктуры — и автоматически генерировать экономически эффективные варианты соединений, минимизируя общую длину линий связи при условии полного охвата всех точек. Для улучшения качества проектируемой сети предусмотрена возможность оптимизации по нескольким критериям с использованием эвристических алгоритмов.

Программная реализация предлагается на языке Python с использованием библиотек NetworkX для работы с графами и PyQt для построения графического интерфейса. Архитектура приложения модульная, что обеспечивает гибкость настройки и возможность последующего расширения функционала — например, интеграции с ГИС-системами или добавления модулей прогнозирования нагрузки.

Предлагаемый инструмент позволяет сократить время проектирования топологии на 40-60% по сравнению с традиционными методами, а также повысить объективность и воспроизводимость результатов за счёт минимизации субъективного человеческого фактора. Программа может быть использована как в практической деятельности операторов связи, так и в учебном процессе для подготовки специалистов в области сетевых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Олифер, Н. Олифер. Компьютерные сети. 3-е издание. Учебник. С-Петербург, Питер, 2006 г.
2. Ильичев Владимир Юрьевич ВИЗУАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕКИ NETWORKX // E-Scio. 2022. №4 (67).

URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vizualnoe-otobrazhenie-setevyh-graficheskih-struktur-s-pomoschyu-biblioteki-networkx. (дата обращения: 22.09.2025).

3. Васильев, Алексей. Программирование на Python в примерах и задачах / Алексей Васильев. — Москва : Эксмо, 2021. — 616 с. — (Российский компьютерный бестселлер).

Automation of Fixed Communication Network Topology Design: Methods, Algorithms, and Software Tools

Evstafyeva V.A., Petryakova V.A.

(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Modern challenges in designing fixed communication networks require consideration of multiple factors: geographical location of nodes, cost of laying communication channels, bandwidth requirements, and fault tolerance. Manual topology construction becomes inefficient as network scale increases, necessitating the development of specialized software capable of automating and optimizing this process.

The proposed software solution is designed to assist network planners during the initial topology design phase. It enables the import of source data — node coordinates and existing infrastructure — and automatically generates cost-effective connection layouts that minimize total link length while ensuring full coverage of all points. To enhance the quality of the designed network, multi-criteria optimization using heuristic algorithms is supported.

The software is implemented in Python, leveraging the NetworkX library for graph operations and PyQt for building the graphical user interface. The application features a modular architecture, ensuring flexible configuration and enabling future functional expansion — for instance, integration with GIS platforms or addition of traffic load forecasting modules.

The proposed tool reduces topology design time by 40–60% compared to traditional methods and improves the objectivity and reproducibility of results by minimizing subjective human influence. The software can be applied both in the practical activities of telecom operators and in educational settings for training specialists in network technologies.

УДК 621.391

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЦИКЛИЧНОСТЬЮ В СЕТЯХ TSN

Старостин А.А., Карташевский И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современных промышленных сетях возрастает потребность в обеспечении связи с минимальной задержкой и предсказуемым временем отклика, что важно для корректной и бесперебойной работы оборудования. Для решения этих задач применяются стандарты IEEE 802.1, объединённые под концепцией Time-Sensitive Networking [1].

Несмотря на детерминированный характер потока, сети TSN подвержены эффекту цикличности — накоплению фазовых сдвигов и задержек при передаче кадров [2]. Это приводит к нарушению временной согласованности и росту джиттера. Для устранения данных эффектов в рамках IEEE 802.1Q разработаны механизмы, обеспечивающие согласование циклов и стабилизацию времени передачи [3].

Временная организация TSN строится на принципе Cyclic Queuing and Forwarding, при котором каждый узел работает в циклах длительностью T: в одном цикле кадры принимаются, в следующем — передаются. Это создаёт предсказуемую задержку, но при несогласованных циклах возможны накопления фазовых сдвигов и перегрузка очередей.

Для согласования времени между устройствами используется протокол IEEE 802.1AS, обеспечивающий микросекундную точность синхронизации узлов. Он формирует общую временную шкалу, что позволяет согласовывать циклы передачи кадров в масштабах всей сети. На основе этой синхронизации действует механизм IEEE 802.1Qbv, реализующий Time-Aware Shaper — таблицы расписаний, задающие временные окна для каждого класса трафика. Благодаря этому кадры передаются строго по расписанию, что исключает фазовые сдвиги и коллизии потоков.

Другим подходом является IEEE 802.1Qch, реализующий циклическую очередь и переадресацию, где кадры, принятые в одном цикле, гарантированно передаются в следующем. Это обеспечивает стабильную задержку, но при неточной синхронизации возможен дрейф циклов. Для его компенсации используется IEEE P802.1Qdv, который добавляет фазовое выравнивание и распределяет кадры по временным «бинам», устраняя накопление задержек и повышая согласованность между узлами.

В отличие от синхронных механизмов, IEEE 802.1Qcr реализует асинхронный подход Asynchronous Traffic Shaping, использующий кредитно-ориентированное управление. Потоки передаются динамически в зависимости от состояния очередей, что снижает перегрузки и устраняет цикличность без строгой временной привязки. Асинхронное управление удобно для распределённых сетей, где точная глобальная синхронизация затруднена.

Проект IEEE P802.1Qdt развивает приоритетное управление потоками, автоматически рассчитывая буферный запас и согласовывая задержки между устройствами. Это предотвращает эффект pause-loop — взаимную блокировку узлов при перегрузках, сохраняя детерминированность и надёжность передачи.

Совместное использование синхронных стандартов и асинхронных формирует многоуровневую архитектуру, которая устраняет накопление циклов и фазовые искажения, обеспечивая стабильную работу TSN-сетей в промышленных, транспортных и энергетических системах нового поколения [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group. — IEEE Standards Association, 2023. — URL: https://1.ieee802.org/tsn/.

2. Hongyu, P.; Peng, L.; Wu, Z. — Internet Engineering Task Force (IETF), 2024. — URL: https://www.ietf.org/archive/id/draft-hp-detnet-tsn-queuing-mechanisms-evaluation-01.html.

3. IEEE Standards Association. — IEEE 802.1 TSN Working Group, 2018–2025. — URL: https://1.ieee802.org/tsn/802-1q/

TSN CYCLICITY MITIGATION METHODS

Starostin A.A., Kartashevskiy I.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents an overview of cyclicity in Time-Sensitive Networking (TSN) systems and the IEEE 802.1Q mechanisms aimed at its mitigation. The discussed standards — IEEE 802.1AS, 802.1Qbv, 802.1Qch, P802.1Qdv, 802.1Qcr and P802.1Qdt — implement both synchronous and asynchronous traffic management methods that align transmission cycles and prevent phase drift. Their combination ensures deterministic delay, minimizes jitter, and improves the reliability of industrial TSN networks.

УДК 004.75

РОЛЬ TSN В 6G

Герасимов В.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Сети синхронизации сети шестого поколения (6G), ожидаемые к широкому внедрению после 2030 года, обещают революцию в области беспроводной связи. Однако, в отличие от предыдущих поколений, где основное внимание уделялось увеличению пропускной способности и снижению задержек, 6G поднимает на новый уровень требования к детерминированности, надежности и синхронизации связи. Именно здесь в игру вступают технологии сетей, чувствительных ко времени (TSN).

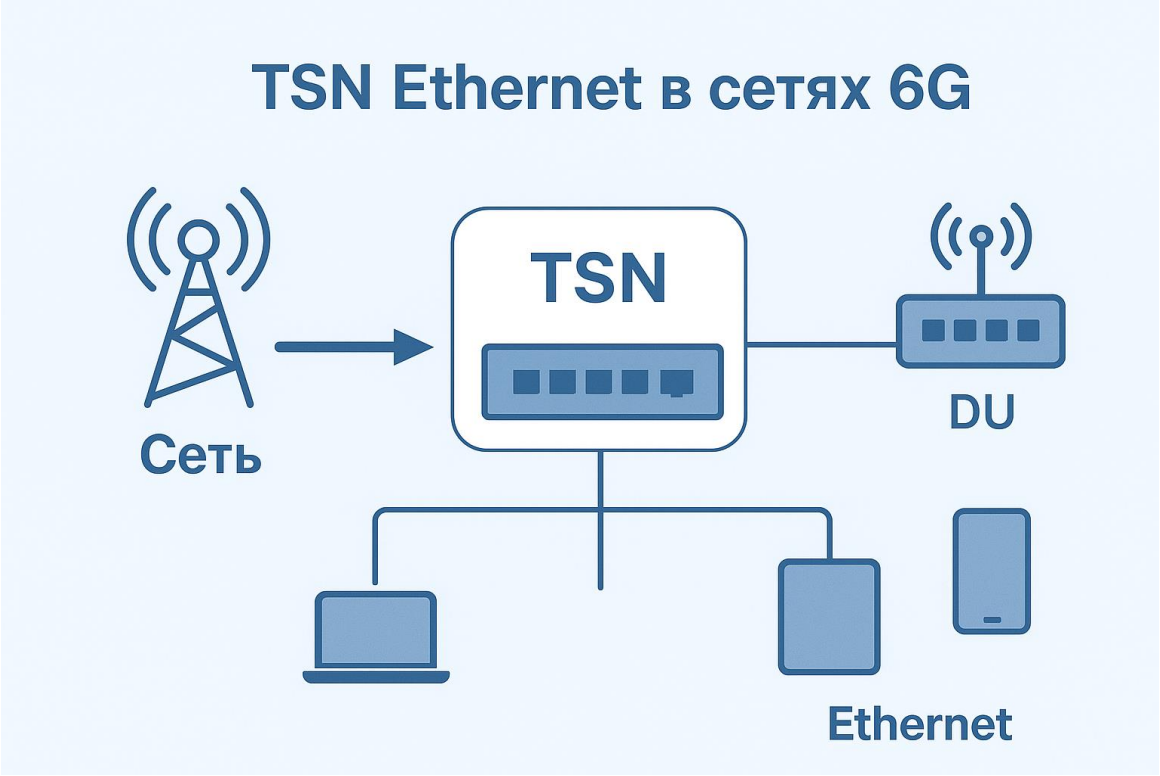


Рис. 1. Схема работы TSN Ethernet в мобильных сетях 6G

TSN — это набор стандартов IEEE (в первую очередь IEEE 802.1), разработанных для обеспечения гарантированной доставки трафика с предсказуемыми задержками, синхронизацией времени и минимальным джиттером. Впервые применяемые в проводных Ethernet-сетях, TSN-технологии теперь адаптируются к беспроводным средам — включая 6G.

В 6G планируется широкое использование технологий в таких чувствительных к времени приложениях, как:

- автономный транспорт (V2X)
- роботизированные производства (Индустрия 5.0)
- удалённая хирургия
- голографическая и тактильная связь

– критически важные ИИ-сервисы на периферии сети (edge AI)

Для таких сценариев обычной низкой задержки недостаточно. Важно, чтобы каждое пакетное сообщение достигало получателя точно в установленное время, без задержек и колебаний.

TSN в 6G решает эту задачу за счет:

– синхронизации времени (например, IEEE 802.1AS)
– управления очередями и трафиком (802.1Qbv – time-aware shaping)
– резервирования ресурсов (802.1Qcc)
– изоляции потоков и приоритезации критически важного трафика

Интеграция TSN в 6G позволит построить детерминированные беспроводные сети, аналогичные по надежности проводным промышленным решениям. Это откроет двери к безопасной автономной мобильности, удалённому управлению и другим сверхкритическим применениям.

Высокая скорость и широкая полоса пропускания остаются важными для 6G, однако детерминированная задержка и точная синхронизация становятся не менее критичными. TSN предоставляет инструменты, необходимые для преобразования 6G в универсальную платформу как для развлекательных, так и для жизненно важных задач. Без TSN 6G не сможет реализовать свои наиболее амбициозные сценарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексахин П.А., Росляков А.В. Моделирование синхронизации времени в сети TSN в пакете OMNeT++/INET // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи : Материалы XXXII Российской научно-технической конференции, Самара, 25–28 февраля 2025 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2025. – С. 32-33.

TSN's role in 6G

Gerasimov V.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Sixth generation (6G) network synchronization networks, expected to be widely adopted after 2030, promise a revolution in wireless communications. However, unlike previous generations, where the focus was on increasing bandwidth and reducing latency, 6G raises the requirements for determinism, reliability and synchronization of communications to a new level. This is where time-sensitive network (TSN) technologies come into play.

УДК 004.732

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПРОТОКОЛОВ TELNET-SSH НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Томашевский Н.С.

(АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Рассматривается проблема эксплуатации телекоммуникационного оборудования с возможностью управления только с помощью незащищенного протокола Telnet, не соответствующий минимальным требованиям безопасности информации. Предлагается архитектура преобразователя протоколов на базе одноплатного компьютера, позволяющего организовать безопасный доступ к устаревшему оборудованию без его замены. Проведен анализ эффективности и экономической целесообразности решения.

Современные телекоммуникационные инфраструктуры представляют собой сложные системы, включающие в себя оборудование различных поколений. Не малая часть эксплуатируемого активного сетевого оборудования, особенно в сегментах сетей особого назначения, была разработана в период, когда требования к информационной безопасности не являлись приоритетными. Такое оборудование часто поддерживает только протокол Telnet (RFC 854) для удаленного управления, который не обеспечивает шифрования передаваемых данных.

Протокол Telnet передает всю информацию, включая учетные данные аутентификации, в открытом виде, что создает риски несанкционированного доступа к сети злоумышленниками, в том числе:

- Перехват учетных данных;
- Анализ сетевого трафика;
- Манипуляция передаваемыми данными;
- Сеансовые атаки.

Полная замена такого оборудования экономически нецелесообразна ввиду его высокой стоимости.

Предлагаемый преобразователь ставится в разрыв между телекоммуникационным оборудованием с протоколом Telnet и локальной сетью, питание подается отдельно. Преобразователь выступает в роли небольшого межсетевого экрана, не пропускающий через себя пакеты Telnet, с дальнейшим их зеркалированием в протокол SSH.

Механизм преобразования протоколов реализует следующие функции безопасности:

1. Аутентификация по открытым ключам SSH;
2. Шифрование трафика алгоритмами AES-256-GCM;
3. Контроль доступа на основе IP-адресов и пользователей;
4. Логирование всех сессий для аудита безопасности;
5. Таймауты неактивных сессий.

Преимущества предложенного решения:

1. Экономическая эффективность - стоимость решения составляет менее 10% от замены оборудования;
2. Безопасность - полное шифрование трафика управления;
3. Совместимость - прозрачная работа с существующим оборудованием;
4. Масштабируемость - возможность централизованного управления множеством преобразователей;
5. Гибкость - поддержка дополнительных функций (VPN, мониторинг).

Текущие ограничения решения:

– Дополнительная точка отказа в инфраструктуре;
– Необходимость обслуживания дополнительных устройств.

Перспективные направления развития:

– Интеграция с системами SIEM для централизованного мониторинга;
– Поддержка протоколов SNMP для мониторинга;
– Реализация высокой доступности (HA) кластеров.

Предложенное решение демонстрирует высокую эффективность в решении проблемы безопасности устаревшего сетевого оборудования. Компромиссный подход, основанный на преобразовании протоколов, позволяет значительно повысить уровень безопасности без существенных капитальных затрат.

Внедрение таких решений особенно актуально для критической информационной инфраструктуры, где требования безопасности конфликтуют с бюджетными ограничениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев А.Е., Мельников И.И. Протоколы TELNET и SSH // Вестник науки. 2018. Т. 4, №6 (6). С. 28 - 42.

2. RFC0854. Postel J., Reynolds J. Telnet Protocol Specification. Network Working Group. 1983. STD 8, RFC 854. Internet Standard 8. Obsoletes RFC 764 and NIC 18639. Updated by RFC 5198. DOI: https://doi.org/10.17487/RFC0854.

TELNET-SSH PROTOCOL CONVERTER BASED ON SINGLE-BOARD COMPUTERS

Tomashevskij N.S.

(Joint Stock Company «Samara innovative business radio systems», Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

The article discusses the problem of operating telecommunications equipment that only supports the unsecured Telnet protocol in today's environment of increased information security requirements. It proposes an architecture for a protocol converter based on a single-board computer that allows for secure access to outdated equipment without replacing it.

УДК 004.41+004.3:631.432.2+628.97

ПРИМЕНЕНИЕ MQTT ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА С ВЕДЕНИЕМ УЧЁТА РАСХОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЖИДКОСТНЫХ РЕСУРСОВ

Чернова С.В., Буримский Н.А., Голованов Р.В., Сотников Д.П.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

По данным глобальных обзоров водных ресурсов за 2024 год, на сельское хозяйство приходится около 70 % мировых изъятий пресной воды, что при растущем водном стрессе делает управление водопользованием задачей первоочередной важности [1]. Одновременно расширяется использование управляемых световых и климатических систем, увеличивающих энергопотребление и расходы эксплуатации. Эти обстоятельства формируют необходимость системного сбора телеметрии и её доступности для анализа на мобильных устройствах [2].

Цель предлагаемой программной идеи разработка надёжной логики MQTT для объединения аппаратных подсистем мониторинга микроклимата. Датчики влажности, температуры, CO_2, расхода воды и энергии формируют непрерывный ряд наблюдений, по которому оценивается динамика высыхания субстрата, эффективность полива и профиль энергопотребления. Исследования показывают, что переход к сенсорному управлению орошением обеспечивает значимую экономию воды и ресурсов [3].

Программная логика MQTT строится на иерархии топиков, обеспечивающих обмен телеметрией и командами между зонами и узлами при слабой связанности участников. Используются уровни доставки с подтверждением, механизмы хранения последнего состояния и сигналов о потере связи. Данные передаются в структурированном виде с указанием времени и параметров измерения. Для визуализации могут применяться мобильные приложения или панели шлюза.

Исследования по энергоэффективному светодиодному освещению подтверждают целесообразность включения энергетических метрик в систему мониторинга [4]. Интеграция показателей света, климата, воды и энергии создаёт основу для аналитики жизненного цикла выращивания и построения оптимальных уставок без модернизации аппаратной части [5].

Разработанная логика MQTT обеспечивает непрерывное взаимодействие между датчиками, исполнительными устройствами и пользователем, формируя единое цифровое пространство контроля параметров микроклимата и ресурсов. Реализация стандартизированных механизмов обмена данными позволяет не только обеспечить надёжную передачу телеметрии и команд, но и упростить масштабирование системы без изменения аппаратной части. Архитектура демонстрирует потенциал для объединения разнородных сенсорных модулей в интегрированную сеть, способную к автономной работе и аналитике данных в реальном времени.

Предложенный подход отражает тенденции цифровизации агропромышленного сектора, где ключевые улучшения достигаются за счёт программных и аппаратных модификаций. Внедрение подобной логики способствует развитию систем точного земледелия, повышающих эффективность управления водопользованием и энергопользованием, обеспечивая рациональное использование ресурсов и стабильность технологических процессов выращивания растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. — Paris: UNESCO Publishing, 2024. — 194 с.

2. Тараканов, Д. В. Система мониторинга микроклимата вертикальной фермы с низким энергопотреблением / Д. В. Тараканов, М. Я. Брагинский, И. А. Хажин // Научные дискуссии в условиях мирового кризиса: новые вызовы, взгляд в будущее : Материалы V международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Ростов-на-Дону, 29 июля 2022 года. Т. 2. — Ростов-на-Дону: ООО «Манускрипт», 2022. — С. 56–67.

3. Поляков, С. Д. Влияние индустриального Интернета вещей на архитектуру предприятия / С. Д. Поляков, Ю. О. Куличкина // Наука, общество, производство и промышленность: актуальные проблемы и перспективы : Сборник статей международной научной конференции, Омск, 07 апреля 2023 года. — Санкт-Петербург: ЧНОУ ДПО Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2023. — С. 27–29.

4. Пулатов, Я. Э. Водосберегающие технологии орошения и эффективность использования воды в сельском хозяйстве / Я. Э. Пулатов // Экология и строительство. — 2017. — № 4. — С. 21–26.

5. Кирилович, Ю. Г. Влияние освещения на выращивание растений в теплицах с системой закрытого грунта / Ю. Г. Кирилович, Е. В. Латкова, Н. Ю. Латков // Инновационная наука. — 2021. — № 2. — С. 37–40.

APPLICATION OF MQTT FOR MONITORING DATA OF PLANT GROWING AUTOMATION SYSTEMS WITH ACCOUNTING OF ENERGY AND LIQUID RESOURCES CONSUMPTION

Chernova S.V., Burimskiy N.A., Golovanov R.V., Sotnikov D.P.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper presents a method for using the MQTT protocol to collect and monitor data from greenhouse hardware subsystems, specifically soil moisture meters, temperature and air humidity sensors, CO_2 sensors, a water flow meter, and an energy meter. The rationale for using MQTT as an event bus with loosely coupled nodes, guaranteed delivery levels, and retained/LWT mechanisms is presented, enabling mobile monitoring and subsequent analysis of substrate drying trends, water consumption profiles, and energy consumption.

УДК 621.391.812.3

ОЦЕНКА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕКАМЕТРОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Копысов А.Н.
(Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова)

Использование декаметрового диапазона в качестве канала передачи информации приводит к необходимости учитывать многолучевой характер распространения радиоволн. Причем задача повышения достоверности принимаемой информации может решаться за счет учета поляризационных характеристики канала и как следствие требует проведения оценки поляризационных характеристик декаметрового канала связи [1]. Современное развитие программно-аппаратных средств приема-передачи позволяет эффективно решать такие задачи [2, 3].

Исследуя возможности снижения эффектов замираний ионосферных волн за счет применения поляризационной селекции характеристических волн было установлено, что на радиотрассах протяженностью порядка 100 км величина частотного рассогласования между приемниками многоканального приемного комплекса, построенного на базе SDR, составляет порядка нескольких единиц сотых долей герц. Вместе с тем были выявлены эффекты расщепления сигналов в радиоэфире на две характеристические волны (рисунок 1, 2, 3).

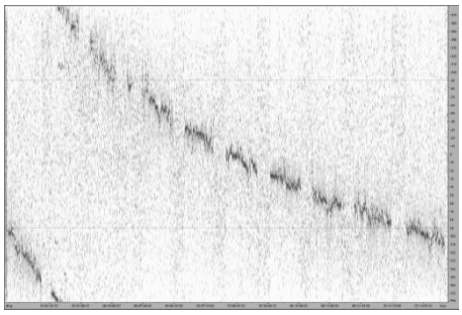
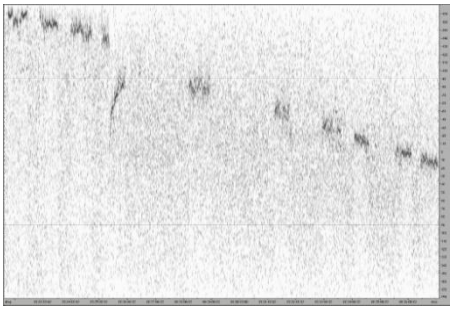
 а)  б)

Рис. 1. Спектр изменения рассогласования фазы во времени для первой серии сеансов: а – сеансы радиосвязи № 21…30; б – сеансы радиосвязи № 31…40

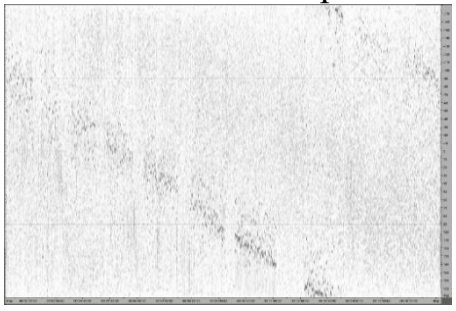
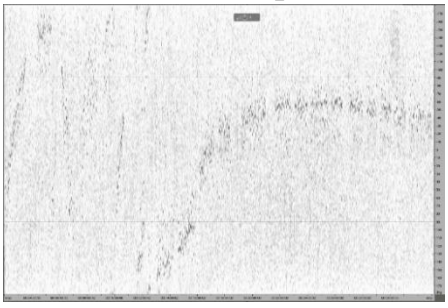
 а)  б)

Рис. 2. Спектр изменения рассогласования фазы во времени для второй серии сеансов: а – сеансы радиосвязи № 1…10; б – сеансы радиосвязи № 11…30

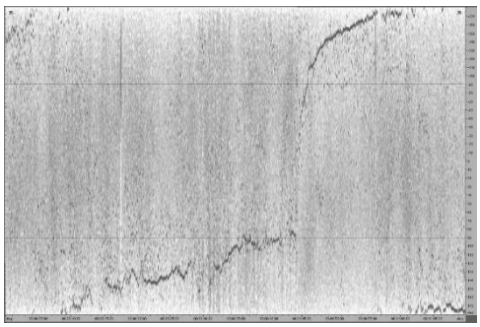
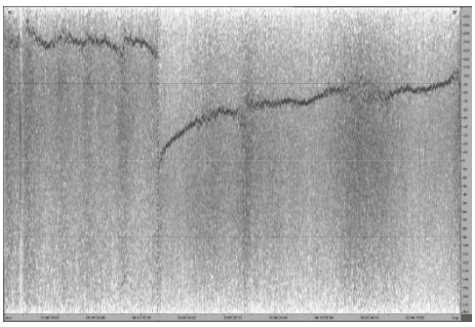
 а)  б)

Рис. 3. Распределение рассогласования фазы во времени в рамках сеансов радиосвязи на частоте 3,8 МГц: а - сеанс радиосвязи №34 первой серии; б – сеанс радиосвязи № 15 второй серии

Анализ полученных результатов по решению задачи оценки поляризационных характеристик декаметрового канала связи и как следствие борьбы с интерференционными замираниями показывает, что имеющиеся в распоряжении программно-аппаратные решения построенные на основе SDR приемников позволяю создавать системы оценки поляризационного состояния канала связи и измерения флуктуации фаз сигналов в режиме реального времени. Что в свою очередь позволяет проводить зондирование и оценку канала связи с последующей адаптацией сигнально-кодовых конструкции к текущему состоянию декаметрового канала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. — 2-е изд., перераб.. — Москва : Наука, 1967. — 683 с.

2. Поляризационный разнос на основе логопериодических антенн турникетного типа / В. И. Власенко, С. С. Дворников, М. Р. Бибарсов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2023. – № 1. – С. 91-97.

3. Использование поляризационных характеристик декаметрового канала связи для повышения надежности доставки сообщений / И. З. Климов, А. Н. Копысов, В. А. Мошонкин, А. С. Батурин // Радиотехника, электроника и связь ("РЭиС-2013") : Сборник докладов II Международной научно-технической конференции, Омск, 01–04 октября 2013 года / ОАО "ОНИИП". – Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2013. – С. 110-114.

ANALYSIS OF POLARIZATION FEATURES OF A DECAMETER LINK WITH HARDWARE AND SOFTWARE

Kopysov A.N.
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University)

Abstract. The paper shows the results of field tests of the created software and hardware that implement the functions of polarizing orientation of the signal of the receiving and transmitting equipment. Estimates of the polarization characteristics of the decameter communication channel are obtained.

УДК 004.023

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Лиманова Н.И., Голикова Н.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Роевой интеллект, вдохновленный биологическими роями различных природных систем, таких как муравьи, киты, пчелы, птицы является перспективным направлением для решения сложных оптимизационных задач в различных областях науки и техники [1, 2]. Он широко применяется и в современных инфокоммуникационных системах, например, для оптимизации топологии сети, создания адаптивного протокола маршрутизации SWAN и создания энерго-осознанного протокола маршрутизации SEAR.

Развитие сенсорных технологий и цифровой связи привело к созданию беспроводных сенсорных сетей WSN, которые состоят из небольших узлов с возможностями считывания, вычислений и беспроводной связи. Эти небольшие узлы являются недорогими портативными узлами с ограниченной мощностью, памятью и вычислительными возможностями. На данный момент разработаны протоколы маршрутизации, методы управления энергопотреблением и протоколы передачи данных. С помощью беспроводных сенсорных сетей появляется возможность наблюдения за окружающей средой, обработки данных и принятия решений на основе проведенных наблюдений.

Оптимизация роя частиц (PSO) – это технология, основанная на использовании роевого интеллекта. PSO определяет каждую частицу как потенциальное решение проблемы в d-мерном пространстве с памятью о своем предыдущем лучшем положении и позиции среди других частиц, в дополнение к компоненте скорости. Применительно к задачам, возникающим в инфокоммуникационных системах алгоритм решает задачу размещения sink-узла, т.е. базовой станции для увеличения времени жизни всей сети. Частица в рое представляет собой потенциальное решение с координатами (x, y) размещения sink-узла. Функция приспособленности является общим энергопотреблением сети при передаче данных от всех сенсоров к sink-узлу с данными координатами. В работе выполнено исследование данной функции для определения ее минимального значения с помощью поиска координаты, уменьшающей энергозатраты всей сети.

SWAN – протокол маршрутизации на основе роевого интеллекта для мобильных одноранговых сетей. PSO позволяет решать проблемы мобильных одноранговых систем, отображая распределение феромонов и отслеживая поведение муравьев, он позволяет каждому узлу выбирать следующий узел для пересылки пакетов на основе таблицы феромонов, зависящей от мобильности. Протокол SWAN использует приветственные пакеты для оценки информации о мобильности. В работе выполнялось исследование работы протокола SWAN в

зависимости от уровня мощности узлов, принимаемого ими в определенные периоды времени, и прогнозирование значений коэффициентов мобильности соседних узлов. Если обнаруживалась большая разница в уровнях мощности, значения феромонов узлов быстро снижалось.

Протокол SEAR использует кратчайший путь для выбора следующего узла для пересылки в пункт назначения. Каждый узел, участвующий в процессе передачи, сохраняет информацию об уровнях энергии следующего возможного соседнего узла и скорости утечки в таблице феромонов. В SEAR информация об уровне энергии узла и скорости утечки в сетях прогнозируется с использованием входящих пакетов и соотносится с затуханием феромонов.

На основе проведенного исследования авторы считают возможным практическое применение методов роевого интеллекта в инфокоммуникационных системах, так как на основе использования рассмотренных выше протоколов возможно увеличение времени жизни сети и интервалов передачи входящих пакетов, что снижает нагрузку на управляющие пакеты, сохраняя достаточный объем информации о соединениях между узлами пересылки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лиманова Н.И., Иваев М.И., Осанов Н.В. Использование методов машинного обучения в угольной логистике // Уголь. 2024. № 9 (1184). С. 67-69. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-67-69.
2. Лиманова Н.И., Осанов Н.В. Анализ роевых алгоритмов для решения задач управления // В книге: VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024. Материалы XXVI Международной научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 262-263.

THE POSSIBILITY OF SWARM INTELLIGENCE MODELS AND METHODS PRACTICAL APPLICATION IN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

Limanova N.I., Golikova N.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper discusses the possibility of swarm intelligence models and methods practical application in information and communication systems. It examines algorithms such as Particle Swarm Optimization and routing protocols like SWAN and SEAR, demonstrating their role in enhancing of the energy efficiency and reliability of wireless sensor and mobile networks.

УДК 004.023

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЛОГИСТИКИ

Лиманова Н.И., Сазонов И.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Актуальность решения задач оптимизации в логистике, в частности, в сфере авиаперевозок обусловлена экспоненциальным ростом объемов отправлений и ужесточением требований к срокам и стоимости доставки. Традиционные методы планирования маршрутов зачастую не способны эффективно учитывать комплекс ограничений, таких как грузоподъемность и вместимость воздушного судна, стоимость перелета, приоритетность доставки и географическую удаленность пунктов назначения. Это обусловливает необходимость внедрения современных адаптивных методов оптимизации, среди которых высокий потенциал демонстрируют алгоритмы роевого интеллекта [1, 2].

В качестве решения в работе представлена разработанная авторами информационная система в виде веб-приложения, включающая модуль оптимизации логистических маршрутов. Система предоставляет пользователю интерфейс для задания параметров отправлений (город-отправитель, список пунктов назначения, вес, габаритный тип) и ограничений рейсов (максимальная грузоподъемность, вместимость по габаритным типам, стоимость перелета за километр). Ядро системы составляет модуль, реализующий и сравнивающий два алгоритма роевого интеллекта: оптимизацию роем частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) и муравьиный алгоритм (Ant Colony Optimization, ACO).

Проведено сравнительное исследование эффективности алгоритмов PSO и ACO на серии тестовых задач различной размерности. Эксперименты показали, что алгоритм PSO демонстрирует более высокую сходимость и эффективность для крупномасштабных задач. Например, для тестового сценария, включающего 16 городов, алгоритму PSO удалось найти решение, сокращающее общий пробег на 27.6% (экономия 4522 км) по сравнению с решением, полученным с помощью ACO. Кроме того, PSO продемонстрировал лучшую оптимизацию загрузки воздушного судна, сократив количество необходимых рейсов с 3 до 2 для той же совокупности отправлений, что приводит к значительной экономии ресурсов.

Рассмотрим конкретный пример работы системы. Пользователь задает город-отправитель – Москва (DME) – и список из 9 посылок в города: Самара (KUF), Новосибирск (OVB), Екатеринбург (SVX), Воронеж (VOZ), Краснодар (KRR), Казань (KZN), Пермь (PEE), Уфа (UFA) и Омск (OMS). Для каждого отправления указаны вес и габаритный тип. Ограничения для воздушного судна следующие: грузоподъемность – 2000 кг, вместимость – условные 100 м^3. После запуска расчета система визуализирует процесс оптимизации и выдает следующие результаты:

— для алгоритма PSO: "Результаты оптимизации маршрута. Общее расстояние: 9945 км. Количество рейсов: 2. Примерная стоимость (из расчета 100 руб./км): 994 500 руб. Оптимальный маршрут: Рейс 1: Москва → Пермь → Екатеринбург → Омск → Новосибирск → Москва (5690 км, 1700 кг, 2.6 м³). Рейс 2: Москва → Казань → Самара → Уфа → Краснодар → Воронеж → Москва (4255 км, 1800 кг, 3.9 м³)."

— для алгоритма ACO: "Результаты оптимизации маршрута. Общее расстояние: 12387 км. Количество рейсов: 2. Примерная стоимость (из расчета 100 руб./км): 1 238 700 руб. и т.д."

Таким образом, алгоритм PSO позволил существенно сократить общий пробег по сравнению с маршрутом, полученным с помощью ACO.

Разработанная система прошла апробацию и используется в учебном процессе для проведения лабораторных работ и исследований в области информационных технологий и логистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лиманова Н.И., Иваев М.И., Осанов Н.В. Использование методов машинного обучения в угольной логистике // Уголь. 2024. № 9 (1184). С. 67-69. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-9-67-69.
2. Лиманова Н.И., Осанов Н.В. Анализ роевых алгоритмов для решения задач управления // В книге: VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024. Материалы XXVI Международной научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 262-263.

RESEARCH AND OPTIMIZATION OF SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS APPLIED TO LOGISTICS PROBLEMS

Limanova N.I., Sazonov I.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper discusses development and application of the information system for optimizing postal logistics routes using swarm intelligence algorithms (PSO and ACO). The system is implemented as a web application for calculating cost-effective delivery routes under given constraints (cargo weight, dimensions, flight cost). A comparative study of the efficiency of the PSO and ACO algorithms on test problems of various dimensions was conducted. The rezults show that the PSO algorithm demonstrates higher efficiency for large-scale problems, reducing total mileage by 27.6% and the number of required flights compared to ACO. The developed system has been tested and is used in the educational process for research in the field of information technology and logistics.

УДК 621.391

ОБЗОР ТРЕБОВАНИЙ МЕТАВСЕЛЕННОЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Лысиков А.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время предполагается, что драйвером развития будущих мобильных сетей будет метавселенная [1]. Метавселенная определяется как широкомасштабная интероперабельная сеть трехмерных виртуальных миров, визуализируемых в режиме реального времени, в которой неограниченное число одновременных пользователей могут получать синхронный и персистентный опыт с ощущением личного присутствия и непрерывностью данных, таких, как идентичность, история, права, объекты, коммуникации и платежи [1]. При этом прогнозируется, что основной движущей силой развития метавселенной в мобильных сетях будут игры в виртуальной реальности (VR-игры) [1].

Одной из фундаментальных технологических особенностей VR-игры в метавселенной является рендеринг в режиме реального времени, который требуется для построения и визуализации моделей виртуальных миров с обзором в 360 градусов, передаваемых в голограммах на пользовательские устройства виртуальной реальности (VR) [2]. Это позволит сделать виртуальные миры высококачественными (хорошо детализированными) и «живыми» (своевременно реагирующими на пользовательский ввод одного или множества участников). Для этого скорость рендеринга должна составлять минимум 30 кадров в секунду (в идеале 120). Помимо этого, виртуальные миры должны быть персистентными, то есть поддерживать в течение требуемого интервала времени отображение следов (например, следы на снегу), оставленных различными участниками в определенное время. Виртуальный мир может занимать объем в несколько десятков петабайт, и загрузить его заранее для последующего воспроизведения на пользовательское устройство невозможно. Поэтому потребуется передача очень большого количества данных в единицу времени на VR-устройства каждого участника, и, следовательно, выделение каналов с большой пропускной способностью.

Для того, чтобы участники могли синхронно наблюдать происходящие изменения находясь в одном и том же событии виртуального мира, требуется, чтобы их VR-устройства синхронно и непрерывно принимали и передавали необходимые объемы данных за заданный интервал времени. Следовательно, мобильная сеть, к которой подключены эти устройства, должна обеспечивать одновременно ряд требований: симметричные восходящий и нисходящий каналы связи и обеспечение требуемых граничных значений пропускной способности, задержки, джиттера и процента потерь.

Еще одним важным требованием метавселенной является поддержка большого количества одновременных пользователей. В настоящее время самое

большое число подключений на квадратный километр ожидается в системах мобильной связи 6G (до 10 млн.).

Среди возможных вариантов решений проблемы поддержки требований метавселенной предлагается создание общей платформы обмена сетевыми метриками между операторами мобильных сетей [1], использование детерминированных технологий TSN, DetNet и др. Однако вследствие фундаментальных особенностей (вероятностный характер пакетного трафика, зависимость характера пакетного трафика от типа приложения, общие разделяемые ресурсы сети, проблемы очередей) пакетных IP-технологий, на основе которых планируется создавать будущие мобильные сети, потребуются новые теоретические и практические подходы, направленные на повышение эффективности функционирования будущих мобильных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болл М. Метавселенная: Как она меняет наш мир // пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2023. 362 с.

2. Амаров В. Особенности беспроводного подключения устройств расширенной реальности в сети 6G // Материалы 64 Студенческой научной конференции (г. Самара, 10 –19 марта 2025 года). – Самара: ПГУТИ, 2025. – С. 234-235.

REVIEW OF METAVERSE REQUIREMENTS FOR MOBILE NETWORK CHARACTERISTICS

Lysikov A.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article examines the characteristics of the metaverse and the corresponding performance characteristics of mobile networks. It also explores ways to support the requirements of the metaverse in future mobile networks.

УДК 621.396.96

ГИБРИДНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ БПЛА В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ БЕЗ GNSS НА ОСНОВЕ РАДИОЧАСТОТНОГО ДАЛЬНОМЕТРИРОВАНИЯ ПО ОПОРНЫМ УЗЛАМ И LiDAR-SLAM

[1]Кужин А.Г., [2]Иванов В.В.

([1]ПАО "ГМК "Норильский Никель", [2]Уфимский университет науки и технологий)

Автономная навигация беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в подземных выработках при отсутствии глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS — Global Navigation Satellite Systems) является критически важной задачей для разведки, мониторинга и поисково-спасательных операций. Известные подходы имеют ограничения: радиочастотные методы позиционирования подвержены ошибкам в условиях отсутствия прямой видимости (NLOS — Non-Line-of-Sight), а одновременная локализация и картирование по лидару (LiDAR-SLAM — Light Detection and Ranging, Simultaneous Localization and Mapping) накапливает дрейф при деградации датчиков из-за запылённости и дыма [1]. Предлагается гибридный метод, объединяющий пассивные радиочастотные измерения от редко размещённых опорных узлов и LiDAR-SLAM в единой фактор-графовой схеме оптимизации, что повышает точность и устойчивость локализации. Состояние системы задаётся вектором $\mathbf{x}_k$:

$$\mathbf{x}_k = [\mathbf{p}_k^T, \mathbf{v}_k^T, \psi_k]^T \quad (1)$$

где $\mathbf{p}_k$ – позиция, $\mathbf{v}_k$ – скорость, ψ_k – курс. Динамика представляется моделью перехода состояния:

$$\mathbf{x}_k = f(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}) + \mathbf{w}_k, \quad \mathbf{w}_k \sim \mathrm{N}(0, \mathbf{Q}) \quad (2)$$

где f – функция динамики, u_{k-1} – управляющие воздействия, $\mathbf{w}_k \sim N(0, \mathbf{Q})$ – гауссовский шум процесса с ковариационной матрицей $\mathbf{Q}$ (получаемой дискретизацией непрерывной модели движения с белым шумом ускорения; численные значения подлежат калибровке по данным ИНС/IMU). Измерительная подсистема включает лидарную одометрию и радиочастотные наблюдения от опорных узлов. Лидарная одометрия описывается уравнением $\mathbf{z}_k^L = h_L(\mathbf{x}_k) + \mathbf{v}_k^L$, где $h_L(\cdot)$ – функция оценивания относительного перемещения по облаку точек, $\mathbf{v}_k{}^L \sim N(0, R_L)$, R_L – ковариация шума лидарных измерений.

Оптимизационная задача записывается как:

$$\mathbf{x}^* = \arg\min_{\mathbf{x}} \left[\sum_k \| \mathbf{r}_k^{dyn} \|^2_{\mathbf{Q}^{-1}} + \sum_k \rho_L(\| \mathbf{r}_k^L \|^2_{\mathbf{R}_L^{-1}}) + \sum_{i,k} \rho_{RF}(\| \mathbf{r}_{i,k}^{RF} \|^2_{\mathbf{R}_{RF}^{-1}}) \right] \quad (3)$$

где $\mathbf{r}_k{}^{\mathrm{dyn}}$, $\mathbf{r}_k{}^L$, $\mathbf{r}_{i,k}{}^{RF}$ – невязка динамики, невязка лидарной одометрии и невязка радиочастотного наблюдения соответственно; $\rho(\cdot)$ – функция Хьюбера для подавления NLOS-выбросов; R_L, R_{RF} – ковариационные матрицы шумов.

Численное моделирование выполнено для туннельного сценария протяжённостью 100 м с четырьмя опорными узлами и траекторией из 150 точек при средней скорости 3,2 м/с. Доля NLOS-измерений составила 26,8% с дополнительными смещениями 15 дБм для RSSI (Received Signal Strength Indicator) и 10 нс для ToF (Time of Flight), а деградация лидарных данных моделировалась дрейфом 2 мм/м с ростом дисперсии при запылении.

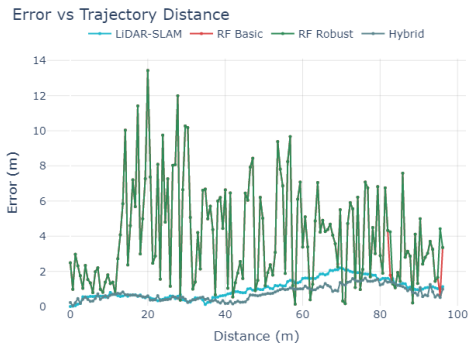


Рис. 1. Зависимость ошибки определения координат от траекторного расстояния

Среднеквадратичная ошибка (RMSE — Root Mean Square Error) составила 0,851 м при 95-м процентиле 1,439 м, что лучше 1,154 м для LiDAR-SLAM и 4,898 м для радиочастотной трилатерации. Адаптивное взвешивание модальностей обеспечивает устойчивость при деградации любого канала, проекция на топологию тоннеля уменьшает компоненты ошибки, перпендикулярные продольной оси тоннеля, а вычислительная латентность менее 50 мс на встраиваемом процессоре требует спецификации аппаратной платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. TDoA positioning with data-driven LoS inference in mmWave MIMO communications [Text] / F. Meng, S. Liu, S. Gao, Y. Yu, C. Zhang, Y. Huang, Z. Lu // Signal Processing. — 2024. — Vol. 220. — P. 109447.

HYBRID UAV POSITIONING WITHOUT GPS IN UNDERGROUND WORKINGS BASED ON RF ANCHOR NETWORK RANGING AND SLAM/LIDAR

[1]Kuzhin A.G., [2]Ivanov V.V.

([1]PJSC MMC Norilsk Nickel, [2]Ufa University of Science and Technology)

A factor graph-based hybrid positioning method combining RF ranging measurements from sparse anchor nodes with LiDAR-SLAM for autonomous UAV navigation in GPS-denied underground environments. The approach achieves sub-meter accuracy (RMSE 0.851m) by employing robust loss functions to mitigate NLOS propagation effects and adaptive sensor fusion to handle environmental degradation conditions.УДК 621.396.4

АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАДИОКАНАЛОМ ДЛЯ НИЗКОЛАТЕНТНОЙ ВИДЕОПЕРЕДАЧИ В ТОННЕЛЯХ БПЛА

[1]Кужин А.Г., [2]Иванов В.В.
([1]ПАО "ГМК "Норильский Никель", [2]Уфимский университет науки и технологий)

Передача видеоданных в реальном времени от подземных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в условиях шахт и тоннелей требует устойчивых методов управления радиоканалом. Многолучевое распространение, замирания и ограниченная прямая видимость (LOS/NLOS) создают конфликт между пропускной способностью, задержкой и надежностью передачи. Существующие схемы с фиксированной модуляцией не обеспечивают требуемое качество видео при минимизации задержки [1-2].

Времявариантный подземный радиоканал описывается импульсной характеристикой:

$$h(t,\tau)=\sum_k a_k(t)\delta(\tau-\tau_k(t)),\qquad a_k(t)=\sqrt{P_k(t)}e^{j\phi_k(t)}. \quad (1)$$

где $\delta(\cdot)$ – дельта-функция Дирака, $\alpha_k(t)$ – комплексная амплитуда k-го луча, $\tau_k(t)$ – задержка k-го луча, $\varphi_k(t)$ – фаза k-го луча, а мощность луча определяется как $P_k(t)=|\alpha_k(t)|^2$. Такое представление однозначно связывает фазово-амплитудные параметры с энергетикой вкладов многолучевого распространения в тоннеле Потери на трассе описываются лог-нормальной моделью с поправкой на частотное поглощение стен:

$$\mathrm{PL}(d)=\mathrm{PL}_0+10n\log_{10}(d/d_0)+X_\sigma+\alpha_f d, \quad (2)$$

где $\mathrm{PL}(d)$ – потери в дБ на расстоянии d (м), PL_0 – опорные потери на d_0 (обычно d_0 = 1м), n – показатель затухания, α_f – частотно-зависимый коэффициент затухания стен в дБ/м, $X_\sigma \sim N(0,\sigma^2)$ — лог-нормальное затенение в дБ. Для сценариев тоннеля используются n = 2,5 (LOS) и n = 4,0 (NLOS), а замирания – по распределению Райса с K = 6 дБ (LOS) и Рэлея (K = 0 дБ) для NLOS, в соответствии с исходным текстом. Отношение сигнал/шум определяется как:

$$\gamma(t)=\frac{P_{tx}\,|h(t)|^2}{N_0 B}, \quad (3)$$

где P_{tx} = 20 дБм, N_0 = –174 дБм/Гц, B=20 МГц. Когерентная полоса $B_c \approx 1/(5\sigma_\tau)$, где σ_τ =10 нс (LOS), 50 нс (NLOS) – среднеквадратичное расширение задержки. Адаптивная модуляция-кодирование (AMC) выбирает схему Modulation and Coding Scheme (MCS) – $\mathrm{MCS}(t)\in$ {QPSK, 16QAM, 64QAM} на основе оценки $\gamma(t)$ с гистерезисом для минимизации переключений. Целевая функция минимизирует сквозную задержку:

$$D_{\text{tot}} = \frac{L}{R(\text{MCS})} + T_{\text{proc}} + T_{\text{queue}} + T_{\text{harq}} \quad (3)$$

где $D_{\text{tot}}(\text{MCS})$ – сквозная (end-to-end) задержка от источника до приемника при выбранной схеме MCS, T_{proc} – задержка обработки на трактах кодека, T_{queue} – задержка ожидания в буферах/очередях MAC/PHY, T_{harq} – дополнительная задержка, связанная с циклами HARQ, L – размер передаваемой полезной нагрузки, $R(\text{MCS})$ – скорость канала на физическом уровне при выбранной схеме MCS при ограничениях качества видео $Q \geq Q_{\min}$ (оцениваемого, через пиковое отношение сигнал/шум, Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) и коэффициента блочных ошибок (Block Error Rate, BLER) $\leq \varepsilon$. Кроссуровневое управление битрейтом видеокодека решает задачу прогнозирующего управления:

$$\min \sum_{\tau=0}^{W} [w_1 D(\tau) + w_2 PLR(\tau) - w_3 Q(\tau)] \quad (4)$$

с условиями $R_v(\tau) \leq R_c(\tau) - R_{\text{guard}}$, $D(\tau) \leq D_{\max}$, где $R_c(\tau) = \eta(\text{MCS}) \cdot B$ – скорость канала, η – спектральная эффективность выбранной схемы модуляции и кодирования, R_{guard} – гарантированный резерв пропускной способности канала, $Q(\tau)$ – качество видео (дБ).

Моделирование проведено для сценариев LOS (100 м) и NLOS (50 м) на частоте 2,4 ГГц. Сравнение фиксированной схемы (16QAM) и адаптивного AMC показало снижение 95-го процентиля задержки на 30% при битрейтах видео 2 – 8 Мбит/с. Адаптивный выбор MCS обеспечил PSNR выше 38 дБ при BLER < 10^{-3} в обоих сценариях. Предложенный метод совместного управления AMC и битрейтом видеокодека позволяет снизить задержку передачи видеопотока в подземных беспилотных системах на 20 – 40% при сохранении требуемого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modeling and Measurement of Radio Propagation in Tunnel Environments [Текст] / C. Zhou, R. Jacksha // IEEE antennas and wireless propagation letters. — 2016. — Т. 16. — С. 1431–1434.

2. Cross-layer optimization technology for wireless network multimedia video [Текст] / W. Xia // Компьютерная оптика. — 2020. — Т. 44, № 4. — С. 582–588.

ADAPTIVE METHODS FOR RADIO CHANNEL MODELING AND CONTROL FOR LOW-LATENCY VIDEO TRANSMISSION IN UNDERGROUND UAV SYSTEMS

[1]Kuzhin A.G., [2]Ivanov V.V.

([1]PJSC MMC Norilsk Nickel, [2] Ufa University of Science and Technology)

This paper proposes adaptive modulation and coding (AMC) with cross-layer video bitrate control for low-latency video transmission from underground UAVs in tunnels. A time-varying channel model with path loss, fading, and delay spread is developed.

УДК 621.396

ВРЕМЕННАЯ И СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ UWB-СИГНАЛОВ

Алексакина Я.В., Воронков Г.С., Султанов А.Х.
(ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»)

Сверхширокополосные (UWB) сигналы представляют собой современную технологию передачи данных на основе сверхкоротких радиочастотных импульсов, обладающих чрезвычайно широкой полосой частот. В отличие от традиционных методов радиосвязи, UWB использует импульсы от сотен пикосекунд до нескольких наносекунд, что позволяет достичь высокой точности синхронизации и малой подверженности помехам даже при высоких скоростях передачи данных [1, 2].

Классической формой UWB-сигнала является гауссовский импульс. Он обладает симметричной формой с плавным нарастанием и затуханием, высокой начальной амплитудой и широкой спектральной полосой, применяется для минимизации спектральных выбросов и гарантирует эффективное использование частотного ресурса, однако, он быстрее затухает во времени, сильнее подвержен влиянию шумов и требует точной синхронизации приемников [1, 2]. Моноимпульсный сигнал в UWB – первая производная гауссовского импульса – одиночный короткий радиоимпульс, основным достоинством которого является высокая устойчивость к временным задержкам и отражениям: даже при значительном удалении в траектории он сохраняет существенную энергию и минимизирует вероятность ошибки при демодуляции данных [1]. Это позволяет использовать моноимпульсы для связи на больших дистанциях и улучшать параметры в условиях сложных и преднамеренных радиопомех.

Моделирование выполнено для гауссовского импульса и моноимпульса при различных длительностях сигнала (τ) с использованием следующих метрических параметров: амплитуды, дисперсии, отношения сигнал/шум+помеха (SINR) и вероятности битовой ошибки (BER).

Основные результаты:

- у моноимпульса в условиях шума энергетические зоны сниженного BER шире;
- гауссовский импульс имеет более резкий провал по BER (при этом сигнал менее устойчив вне центральной зоны), но полоса надежности моноимпульса шире и менее чувствительна к фронтовым искажениям;
- с увеличением длительности амплитуда, энергия, SINR и BER растягиваются по времени, область надежного приема становится шире, т.е., увеличивается длительность максимально эффективного приема и передачи сигнала;
- при коротких импульсах качество приема чувствительнее к точности синхронизации.

В условиях сложных радиоканалов (наложение гармонических и аддитивных помех) интегрированный анализ показывает, что область эффективного и устойчивого приёма данных (минимальный BER, высокий SINR) шире для моноимпульса, чем для гауссовского импульса (Рис. 1).

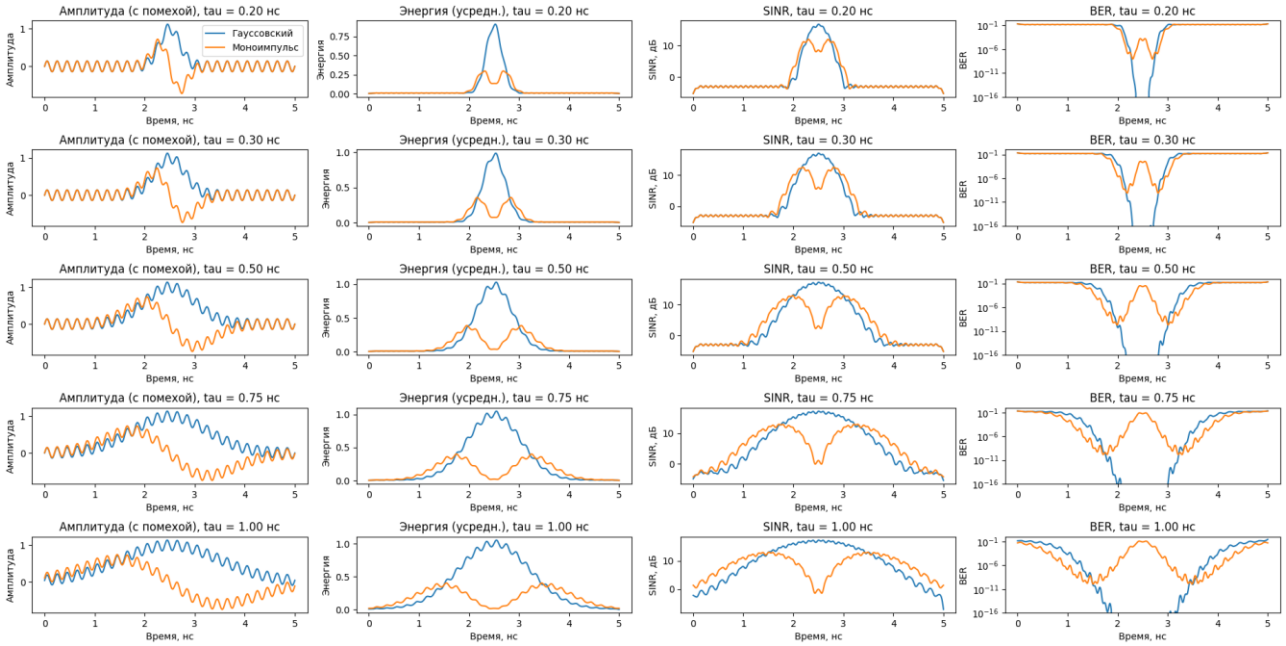


Рис. 1. Временные зависимости параметров качества передачи (амплитуда, энергия, SINR, BER) для гауссовского и моноимпульса UWB в условиях помех

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Win M.Z., Scholtz R.A. "Impulse Radio: How It Works." IEEE Communications Letters, 2002.
2. Molisch A.F. "Ultra-Wideband Propagation Channels." Proceedings of the IEEE, 2009.

TIME AND STOCHASTIC OPTIMIZATION OF DATA TRANSMISSION USING IMPULSE UWB SIGNALS

Aleksakina Y.V., Voronkov G.S., Sultanov A.Kh.
(Ufa University of Science and Technology)

This work models Gaussian and monocycle UWB signals at various pulse durations (τ), evaluating amplitude, energy, signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR), and bit error rate (BER). Integrated analysis shows that in complex radio channels, the effective reception region is wider for the monocycle pulse, confirming its advantages in noise resilience and transmission reliability.

Секция 3. Инфокоммуникационные космические технологии, системы радиосвязи, телевидения и мобильной связи.

УДК 621.37

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ЦЕЛЕЙ

Борисенков А.В., Диязитдинова А.А., Голубцов Н.Н., Горячкин О.В., Кубанов В.П., Лифанов А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время наблюдается бурное развитие технологий радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с борта авиационных или космических носителей. Связано это с тем, что радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) формируют радиолокационные изображения с разрешением близким к оптическим датчикам, но при этом, не требуют светлого времени суток и не зависят от облачного покрова. Однако, практические применения РСА часто ограничены проблемами идентификации объектов интереса на радиолокационных изображениях.

Вместе с тем, среди задач ДЗЗ, которые могут быть решены только применением РСА можно выделить измерение высоты земной поверхности и подповерхностное зондирование. Радиосигналы P, VHF диапазонов частот, используемые в РСА, обладают высокой проникающей способностью и обеспечивают возможность наблюдения подповерхностных и укрытых растительностью целей [1].

Однако на практике, отсутствие методики оценки информационных возможностей РСА при наблюдении подповерхностных целей ограничивает применение этих систем.

В докладе предлагается методика определения глубины обнаружения цели в зависимости от свойств среды, подстилающей поверхности, параметров РСА. В качестве тестовой цели предлагается использовать линейный симметричный вибратор. Подробно данная методика опубликована в [2]. В таблицах 1,2 приведены результаты расчета глубины обнаружения цели РСА МРЛК-2 для частотного диапазона VHF2 и аналогичной РСА в соседних диапазонах частот P и VHF1.

Таблица 1

Глубина обнаружения цели в РСА на фоне σ_0=-30dB

Среда	ε_1	σ_1	Глубина обнаружения, м (SNR_0=10dB, d_{min}=600м)		
			VHF1 (50-100 МГц)	VHF2 (120-175 МГц)	P (420-455 МГц)
Сухая почва	4	$1\cdot10^{-3}$	4.5	2	0
Влажная почва	10	10^{-2}	0.5	0	0
Пресная вода	80	$6\cdot10^{-2}$	0	0	0

Таблица 2

Глубина обнаружения цели в РСА на фоне σ_0=-40dB

Среда	ε_1	σ_1	Глубина обнаружения, м (SNR_0=10dB, d_{min}=600м)		
			HF1 (50-100 МГц)	VHF2 (120-175 МГц)	P (410-460 МГц)
Сухая почва	4	$1\cdot10^{-3}$	11	9	6
Влажная почва	10	10^{-2}	1.3	1	0.5
Пресная вода	80	$6\cdot10^{-2}$	0.11	0	0

Анализируя эти данные можно заметить, что влияние частотного диапазона на информационные возможности РСА по наблюдению подповерхностных целей имеет место, но степень этого влияния не столь существенна, как это принято считать в профессиональном сообществе. Как можно заметить, не менее существенно влияние степени отражения от поверхности Земли, что означает, что реальное подповерхностное зондирование с применением РСА возможно только при условии слабого отражения поверхности Земли в направлении РСА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алышев Ю. В., Борисенков А. В., Брайнина И. С., Горячкин О. В. и др. Оптимальные методы обработки сигналов в системах радиотехники и связи. Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2018. 344 с.

2. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Кубанов В.П., Лифанов А.С. Информативность РЛС с синтезированной апертурой по наблюдению подповерхностных целей // Радиотехника. 2025. Т. 89. № 8. С. 127−134.

INFORMATION CAPABILITIES OF SYNTHETIC APERTURE RADAR FOR OBSERVING SUBSURFACE TARGETS

Borisenkov A.V., Diyazitdinova A.A., Golubtsov N.N., Goryachkin O.V., Kubanov V.P., Lifanov A.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report discusses the information capabilities of synthetic aperture radar for observing subsurface targets. The results of calculating the detection depth of a SAR target placed on a quadcopter are presented.

УДК 621.37

НЕКОГЕРЕНТНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ДАННЫХ В РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА БПЛА

Борисенков А.В., Горячкин О.В., Лифанов А.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Характерной особенностью изображений, получаемых в РЛС с синтезированной апертурой (РСА) является спекл-шум, который проявляется на них в виде «зернистой структуры». Причиной этого явления является когерентный характер формирования радиолокационного изображения, когда множественные комплексные сигналы случайных рассеивателей, попадающие в один элемент разрешения РСА, суммируются с учетом фазы, что дает случайную амплитуду на радиолокационном изображении (РЛИ), которая распределена по Рэлею или Райсу, если среди них есть «яркая» цель. Наличие спекл-шума обычно затрудняет идентификацию протяженных целей на РЛИ, поэтому задача подавления этой помехи является «классической» для техники РСА. Среди известных способов борьбы со спекл-шумом наиболее эффективным является некогерентное накопление нескольких радиолокационных изображений, полученных в процессе синтеза апертуры за счет нескольких «взглядов», отличающихся азимутальным ракурсом. Не менее часто используются различные линейные и нелинейные фильтры, улучшающие визуальные свойства РЛИ. Недостатком всех этих методов является снижение пространственной разрешающей способности на обработанных изображениях. Размещение РСА на БПЛА открывает новые возможности для подавления спекл-шума за счет некогерентного накопления нескольких изображений, полученных в результате многократной повторной съемки. В этом случае, можно подавить спекл-шум без неизбежного снижения пространственного разрешения. Однако, при сложении радиолокационных изображений, полученных в разное время, на разных траекториях носителя, с различными траекторными ошибками могут возникать нестыковки, снижающие эффективность подавления и «размывающие» изображения ярких точечных целей. В этом случае могут быть использованы различные алгоритмы попиксильного совмещения радиолокационных изображений. В докладе показаны результаты накопления, использующие различные алгоритмы совмещения: 1) совмещение по реперным точкам; 2) совмещение путем минимизации спектральной нормы матрицы разностных РЛИ; 3) совмещение путем минимизации евклидовой нормы матрицы разностных РЛИ. При реализации совмещения по реперным точкам каждое РЛИ формировалось в связанной с поверхностью Земли системе координат так, чтобы начало системы координат связывалось с центральным пикселем, легко идентифицируемым на всех РЛИ. На рисунке 1 показан пример подавления спек-шума в РСА МРЛК-2 [1]. Анализируя полученные результаты, можно заметить, что используя многократную съемку местности с помощью РСА, размещенном

на БПЛА можно существенно снизить уровень спекл-шума на РЛИ. Погрешность совмещения при этом не превосходит 1-2 пикселей.

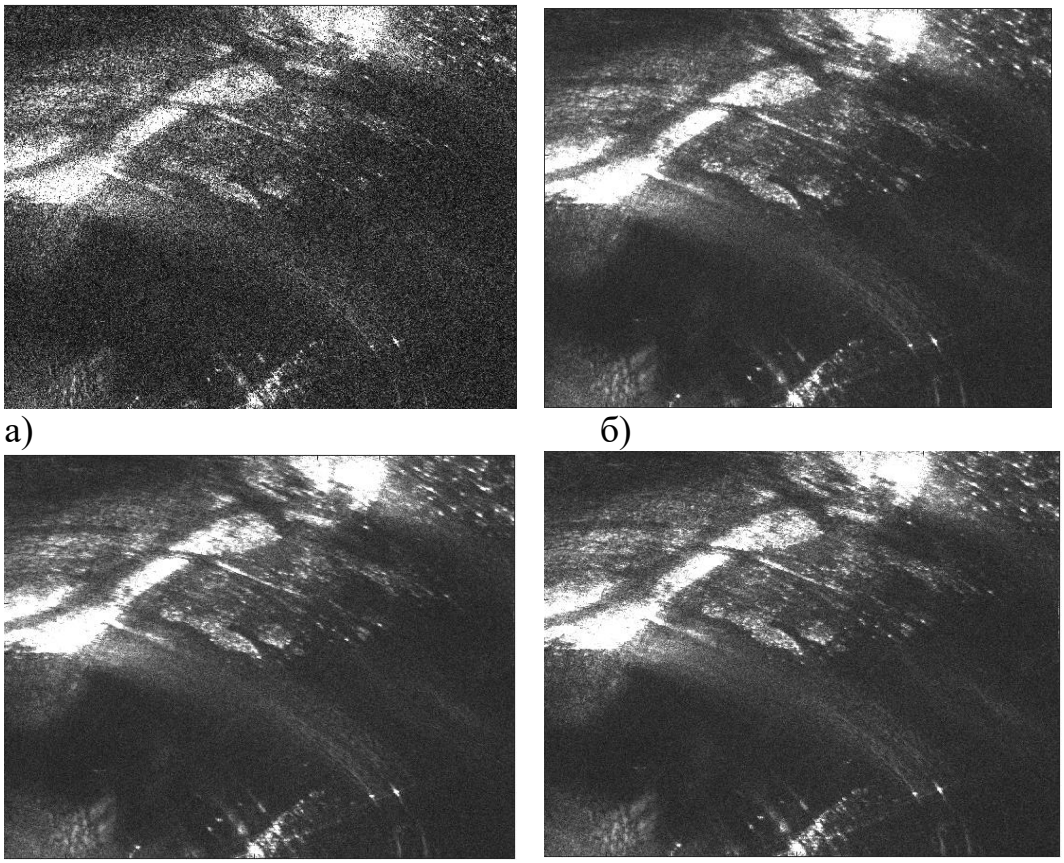


Рис. 1. Результат некогерентного накопления 9-ти радиолокационных изображений местности, а) – одиночное РЛИ, б) - совмещение по реперной точке, в) совмещение минимизацией спектральной нормы, г) - совмещение минимизацией евклидовой нормы разностных РЛИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков, А.В., Горячкин О.В., Лифанов А.С. Радиолокатор с синтезированной апертурой для БПЛА // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024 : Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 412-413.

INCOHERENT SUMMATION OF DATA IN UAV SAR

Borisenkov A.V., Goryachkin O.V., Lifanov A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report discusses the possibility of suppressing speckle noise on radar images obtained as a result of multiple radar surveys from UAVs. Various algorithms for pixel-by-pixel alignment of radar images are analyzed.

УДК 004.942, 007.2

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ФАПЧ

Новикова Д.Д.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) играют ключевую роль в современной радиоэлектронике, обеспечивая стабильность и точность работы различных устройств. Они необходимы для синхронизации сигналов и стабилизации частоты генераторов. В условиях растущих требований к качеству и надежности важно повышать чувствительность ФАПЧ, что улучшит помехоустойчивость, точность и скорость реакции на изменения входных сигналов. Современные ФАПЧ сталкиваются с проблемами влияния внешних помех, необходимостью широкой полосы захвата и требованиями к быстродействию. Повышение чувствительности позволяет системам быстрее реагировать на изменения эталонного сигнала и эффективнее фильтровать помехи, обеспечивая стабильную работу в сложных условиях [1].

Существует несколько направлений усовершенствования ФАПЧ с целью повышения их чувствительности.

Первое направление — использование более чувствительных фазовых детекторов. Фазовый детектор является ключевым элементом системы, от характеристик которого зависит точность определения разности фаз между эталонным и подстраиваемым сигналами. Применение современных полупроводниковых устройств и схем может существенно повысить чувствительность этого блока.

Второе направление — оптимизация параметров фильтров. Фильтры в системе ФАПЧ отвечают за подавление помех и формирование нужной частотной характеристики. Подбор оптимальных параметров фильтров, включая использование пропорционально-интегрирующих и других типов, позволит улучшить фильтрующие свойства и чувствительность системы.

Третье направление — применение дополнительных контуров авторегулирования. Введение дополнительных управляющих элементов и контуров обратной связи может повысить гибкость настройки системы и её способность адаптироваться к изменениям входных параметров.

Четвёртое направление — использование инерционно-нелинейных параметров. Настройка инерционных и нелинейных характеристик системы позволяет оптимизировать её реакцию на входные сигналы и повысить общую чувствительность.

Пятое направление — разработка специализированных схем для конкретных задач. Например, для систем, работающих в условиях сильных помех, можно разработать схемы с усиленной фильтрацией и повышенной чувствительностью к полезным сигналам.

Таким образом, были рассмотрены ключевые аспекты повышения чувствительности систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), которые

играют важную роль в современной радиоэлектронике. Повышение чувствительности ФАПЧ необходимо для улучшения помехоустойчивости, точности и скорости реакции на изменения входных сигналов. Однако особое внимание следует уделить идее применения цифровых автогенераторов [2-5], работающих в режиме повышенной чувствительности, в системах ФАПЧ. Это перспективное направление может стать эффективным решением для значительного повышения чувствительности ФАПЧ, улучшения качества синхронизации и демодуляции сигналов, а также повышения точности стабилизации частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В.Шахгильдян, А.А.Ляховкин Системы фазовой автоподстройки частоты. - 2-е изд. – М.: Связь. 1972. - 448 с.

2. Иванов В.В., Шакурский В.К. Генераторные фазовые и частотные преобразователи и модуляторы М.: Радио и связь. 2003. 184 с.

3. Иванов, В. В. Моделирование виртуальных автоколебательных систем в режиме повышенной чувствительности с использованием цифровых фильтров / В. В. Иванов, В. К. Шакурский, М. В. Шакурский // Школа университетской науки: парадигма развития. – 2011. – № 1(2). – С. 66-72.

4. Иванов, В. В. Цифровые фильтры частотной выборки / В. В. Иванов, М. В. Шакурский. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2012. – 106 с.

5. Шакурский, М.В. Устройство для преобразования девиации частоты периодического сигнала / В.И. Воловач, В.В. Иванов, В.К. Шакурский, М.В. Шакурский // Пат. на полезн. модель 109941 Российская федерация, МПК H03D 7/16. – №2011108082/08; заявл. 02.03.2011; опубл. 27.10.2011 Бюл. № 30.

APPLICATION OF HIGH-SENSITIVITY SYSTEMS FOR PHASE AUTOSENSE FREQUENCY

Novikova D.D.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article discusses the role of phase-locked loop (PLL) systems in modern radio electronics and ways to improve their sensitivity. Several approaches to improving PLL systems are analyzed, including the use of more sensitive phase detectors, optimizing filter parameters, implementing additional automatic control schemes, utilizing inertial and nonlinear parameters, and developing specialized circuits. The article highlights the advantages and challenges associated with improving PLL sensitivity, including improved signal synchronization and demodulation, enhanced frequency stabilization accuracy, and potential increased susceptibility to interference and circuit complexity.

УДК 004.942, 007.2

ВЫБОР ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ АВТОГЕНЕРАТОРНЫХ СИСТЕМ С ФАПЧ

Новикова Д.Д.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современной радиотехнике системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) играют важную роль, особенно в устройствах, требующих высокой точности частоты сигналов [1]. Ключевыми элементами этих систем являются автогенераторы, для работы которых необходимы цифровые фильтры с определёнными характеристиками. Основная проблема заключается в создании фильтров с изменяемым углом наклона фазочастотной характеристики (ФЧХ) [2, 3]. Это связано с тем, что в цифровых фильтрах с симметричной конечной импульсной характеристикой (КИХ) диапазон фазовых сдвигов может быть значительным и зависеть от порядка фильтра, что приводит к многозначности частот с одинаковыми фазовыми сдвигами и ограничивает применение КИХ-фильтров в автоколебательных системах и измерительных преобразователях.

Для решения этой проблемы можно использовать цифровые фильтры со смещаемой ФЧХ. Существует несколько подходов к реализации таких фильтров:

1. Предкоррекция ФЧХ [4]. Этот метод позволяет получить цифровой фильтр с типичной нулевой и нетипичной эквивалентной ФЧХ. Суть метода заключается в предварительном преобразовании узкополосного сигнала на входе цифрового фильтра. Цифровой фильтр с предкоррекцией ФЧХ содержит блок формирования сигнала с удвоенной частотой несущего колебания входного сигнала, узкополосный фильтр, и блок задержки.

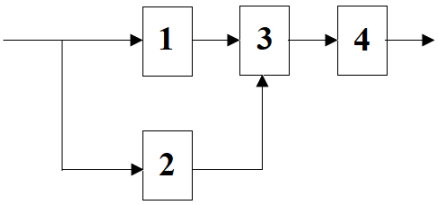


Рис. 1. Схема цифрового фильтра с предкоррекцией ФЧХ

Корректная настройка этой схемы позволяет добиться того, что эквивалентная ФЧХ всего устройства будет находиться в нужном диапазоне. Изменение параметра линии задержки даёт возможность менять знак и величину угла наклона ФЧХ в заданном диапазоне.

2. Смещение ФЧХ. В этом подходе один из полосных фильтров заменяется линией задержки. Изменение параметра линии задержки позволяет менять знак и величину угла наклона ФЧХ в заданном диапазоне. Такой подход даёт возможность разрабатывать цифровые автоколебательные системы, исключая неоднозначность частоты генерируемых колебаний в пределах полосы пропускания цифрового фильтра. Данный фильтр содержит блок свертки отсчетов входного сигнала и отсчетов импульсной

характеристики, блок памяти отсчетов импульсной характеристики и блок переадресации данных.

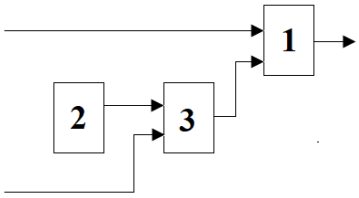


Рис. 2. Схема цифрового фильтра со смещаемой ФЧХ

Разработка цифровых фильтров с регулируемой ФЧХ имеет важное практическое значение. Такие фильтры позволяют: реализовать цифровые автоколебательные системы, исключая неоднозначность частоты колебаний в полосе пропускания, уменьшить искажения АЧХ, исключить дополнительные фазовые сдвиги при фильтрации модулированного сигнала, а также устранить многозначность фазовых сдвигов в полосе частот.

Выбор подходящих цифровых фильтров является ключевым для создания эффективных автогенераторных систем с ФАПЧ, что способствует повышению точности и стабильности работы в радиотехнике и электронике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В.Шахгильдян, А.А.Ляховкин Системы фазовой автоподстройки частоты. - 2-е изд. – М.: Связь. 1972. - 448 с.

2. Иванов В.В., Шакурский В.К. Генераторные фазовые и частотные преобразователи и модуляторы М.: Радио и связь. 2003. 184 с.

3. Иванов, В. В. Цифровые фильтры частотной выборки / В. В. Иванов, М. В. Шакурский. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – 106 с.

4. Шакурский М.В. Настройка фазочастотной характеристики цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой независимо от амплитудно-частотной характеристики / М.В. Шакурский // «Радиотехника» т.88, №12, – М.: Изд-во «Радиотехника» 2024, с. 119-126

SELECTION OF DIGITAL FILTERS FOR AUTOGENERATOR SYSTEMS WITH PHASE AUTOSENSE FREQUENCY

Novikova D.D.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article focuses on phase autosense frequency systems in radio engineering, with a particular emphasis on the design of digital filters with variable phase-frequency response (PFR). Two methods are explored: PFR pre-correction, which transforms a narrow-band signal to achieve the desired PFR, and PFR offset, which replaces one of the filters with a delay line. Both approaches aim to resolve frequency ambiguity and reduce distortion, which is crucial for improving the accuracy and stability of digital oscillator systems.

УДК 62.932.4

ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Панченко В.Н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Система железнодорожной радиосвязи предназначена для оперативного управления движением поездов, обеспечивающая обмен информацией между машинистами подвижного состава и оперативным диспетчерским персоналом диспетчерских центров управления, дежурными по станциям и переездам, машинистами встречных и вслед идущих поездов и другим персоналом, связанным с поездной работой (рис 1.). Для того чтобы гарантировать надежность и эффективность работы поездной радиостанции, необходимо проводить ее регулярный мониторинг и диагностику [1, 2].

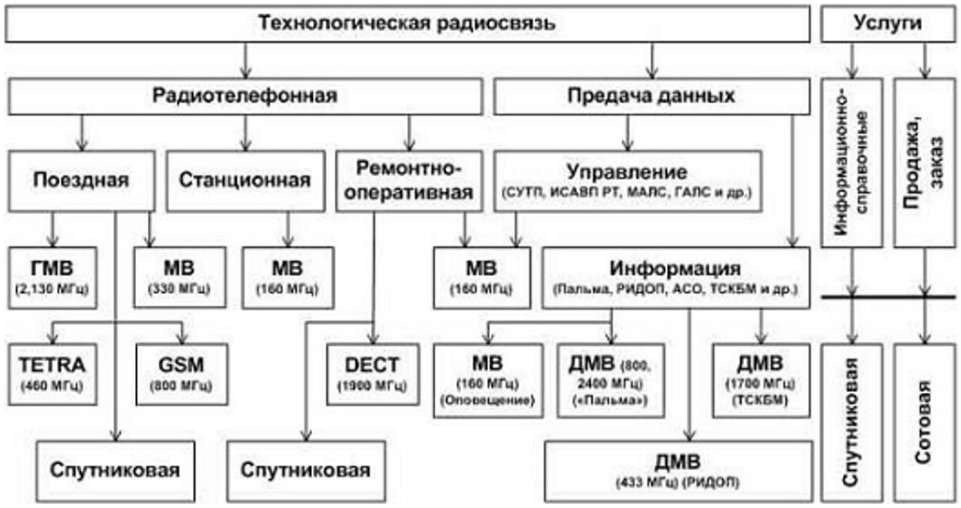


Рис. 1. Виды технологической радиосвязи ОАО «РЖД»

Диагностика – это процесс выявления и локализации неисправностей в случае обнаружения отклонений от нормы. Основные типы неисправностей радиосвязи включают в себя:

- аппаратные неисправности;
- программные сбои;
- проблемы с электропитанием:
- повреждение антенн.

Для поддержания радиосвязи в оптимальном состоянии, а также для оперативного выявления и устранения возможных неисправностей используются специализированные комплексы технических средств (КТС). Эти комплексы представляют собой сложную, многоуровневую систему, предназначенную для мониторинга, диагностики и анализа параметров радиосвязи на железнодорожном транспорте. Ключевая задача КТС – обеспечить автоматизацию процессов, связанных с обслуживанием и контролем

работоспособности оборудования радиосвязи. Это позволяет значительно сократить время реагирования на возникающие проблемы, повысить точность диагностики и, как следствие, снизить вероятность отказов.

Комплекс для диагностики железнодорожной радиосвязи обладает широким спектром функций, направленных на обеспечение эффективного управления и мониторинга. Важнейшими функциями комплекса являются:

- Комплекс должен иметь возможность надежного хранения больших объемов информации о состоянии оборудования, результатах диагностики, истории обслуживания и других критически важных данных.
- Система должна обеспечивать быстрый и эффективный поиск необходимой информации по различным критериям, таким как тип оборудования, время проведения диагностики, выявленные неисправности и т.д.
- Комплекс должен предоставлять инструменты для анализа собранных данных, позволяющие выявлять тенденции, закономерности и потенциальные проблемы в работе оборудования радиосвязи. Это может включать в себя статистический анализ, визуализацию данных в виде графиков и диаграмм, а также использование алгоритмов машинного обучения для прогнозирования возможных неисправностей [3].

Оптимальной архитектурой для такого комплекса диагностики является архитектура «клиент – сервер». Это обеспечивает масштабируемость, надежность и гибкость системы, а также упрощает процесс администрирования и обслуживания [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 33889-2016. Электросвязь железнодорожная. Термины и определения.
2. ГОСТ 16019-2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний.
3. ГОСТ 34773-2021. Системы технического диагностирования и мониторинга железнодорожной электросвязи высокоскоростных железнодорожных линий. Общие технические требования.

DIAGNOSTICS AND MONITORING OF THE RAILWAY RADIO COMMUNICATION SYSTEM

Panchenko V.N.
(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

This paper presents recommendations for diagnostics and monitoring of railway radio communication systems.

УДК 621.372.22

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД КОТЕЛЬНИКОВА ДЛЯ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ОЦЕНОК ИХ КАНАЛА С ЗАМИРАНИЯМИ

Чингаева А.М.

(«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для оценивания ИХ замирающего канала в пакетных системах передачи используются периодические детерминированные вставки следующие с интервалом $T_{\text{ц}}$ [1]. При соблюдении условий теоремы Котельникова (т. е. при частоте следования вставок превышающей удвоенную граничную частоту замираний в канале) возможно восстановить картину изменений ИХ между полученными оценками и тем самым повысить качество работы демодулятора. В силу очевидных причин число оценок ИХ участвующих в интерполяции ограничено N_1 «прошлыми» и N_2 «будущими» оценками, т. е. применяется усечённый ряд Котельникова:

$$\dot{g}_j \approx 2FT_{\text{ц}} \sum_{k=-N_1+1}^{N_2} \dot{g}_k \operatorname{sinc}\left[2\pi F\left(j\Delta t - kT_{\text{ц}}\right)\right].$$

Усечение ряда Котельникова приводит к возникновению погрешности, которая обусловлена плохой локализацией во времени (медленным затуханием) базисных функций $\psi_k(t) = \operatorname{sinc}\left[2\pi F\left(t - kT_{\text{ц}}\right)\right]$. Если в качестве $\psi_k(t)$ использовать функции, хорошо локализованные как по времени, так и по частоте, можно добиться уменьшения погрешности интерполяции при тех же значениях N_1 и N_2:

$$\psi_0(t) = \operatorname{sinc}\left(\frac{\pi t}{T_{\text{ц}}}\right)\frac{\cos 2\pi\Delta F t}{1-\left(4\Delta F t\right)^2}.$$

Модифицированный ряд Котельникова:

$$\dot{g}_j \approx \sum_{k=-N_1+1}^{N_2} \dot{g}_k \operatorname{sinc}\left[\pi\left(j\frac{\Delta t}{T_{\text{ц}}} - k\right)\right]\frac{\cos\left[2\pi\Delta F\left(j\Delta t - kT_{\text{ц}}\right)\right]}{1-\left[4\Delta F\left(j\Delta t - kT_{\text{ц}}\right)\right]^2}.$$

Для получения оценки качества работы алгоритма интерполяции было проведено компьютерное моделирование. Сравнительный анализ проводился для методов «нулевой» и линейной интерполяции, интерполяции усечённым рядом Котельникова и модифицированным рядом Котельникова в релеевском канале [2] для модели Кларка [3] при относительной скорости замираний $\nu_{\text{д}} T = 0{,}001$.

Результаты моделирования показаны на рис. 1. Точками показаны экспериментальные значения погрешности, сплошными линиями – значения, рассчитанные по теоретическим формулам с усреднением по всему циклу передачи.

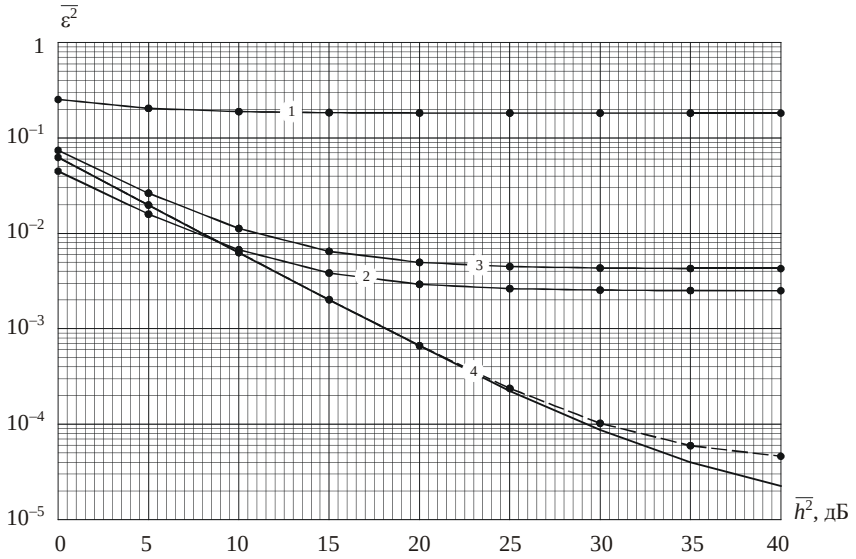


Рис. 1. Зависимости $\overline{\varepsilon^2}\left(\overline{h^2}\right)$: 1 – нулевая интерполяция; 2 – линейная интерполяция; 3 – усечённый ряд Котельникова при $N_1 = N_2 = 4$ и $F = 1/2T_{\text{ц}}$; 4 – модифицированный ряд Котельникова при $N_1 = N_2 = 4$.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что использование модифицированного ряда Котельникова, базисные функции которого хорошо локализованы как во времени, так и по частоте, позволяет существенно повысить качество оценок ИХ в замирающем канале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, Б. И. Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью. – М.: Радио и связь. – 1988. – 264 с.

2. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1-е изд., кн. первая 1966, 728 с. кн. вторая, 1968, 503 с. кн. третья, 1976, 2-е изд. соотв. В 1974, 1978, 1984.

3. Clarke, R. H. A statistical theory of mobile-radio reception // Bell Syst. Tech. J. 47, 1968. – P. 957–1000.

MODIFIED WHITTAKER-SHANNON INTERPOLATION FORMULA FOR FADING CHANNEL IR ESTIMATION

Chingaeva A.M.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

This work presents the results of computer simulation for the proposed modification of Whittaker–Shannon interpolation formula using well-localized basis functions in both time and frequency range. Based on comparison with other known methods like zero and linear interpolation, truncated Whittaker–Shannon series, a conclusion can be drawn that the proposed modification allows to achieve.

УДК 621.396.49, 512.64

АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ

Коробков А.А., Гайсин А.К., Надеев А.Ф., Сафиуллин И.А., Ашаев И.П.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Концепция O-RAN, лежащая в основе построения гетерогенных сетей, открыла путь для разработки и внедрения новых алгоритмов, направленных на повышение эффективности работы перспективных гетерогенных сетей.

Одним из способов повышения эффективности является гибкое управление правилами обслуживания мобильных пользователей. Для реализации этого подхода требуется знание об передвижения пользователей – характере их мобильности.

Под характером мобильности пользователей мы понимаем обобщённую оценку скорости и траекторий движения конкретного пользователя. Для получения этой оценки авторами в работе [1] предлагается использовать стандартные параметры, передающиеся в служебных сообщениях сетей O-RAN: мощность принимаемого сигнала или отношение сигнал/шум+интерференция (SINR).

Классифицируя пользователей на основе результатов анализа выбранных параметров: изменения мощности принимаемого сигнала или SINR, предполагается присваивать конкретные политики обслуживания пользователям, у которых близкий характер мобильности.

Такие ограничения, как небольшая вычислительная сложность и отсутствие необходимости в большом количестве данных для обучения не позволяют использовать для решения задачи классификации пользователей по характеру их мобильности такие традиционные классификаторы, как логистическая регрессия, метод опорных векторов, дерево решений, k-ближайших соседей, а также нейронные сети.

В тоже время, об используемых параметрах значения мощности принимаемого сигнала на стороне пользователя и SINR, как информационных признаках, нельзя с полной уверенностью утверждать, что они независимы. Более того используемые параметры являются непрерывными. В связи с этим, для решения задачи классификации пользователей по характеру их мобильности был выбран полный классификатор Байеса.

Этот классификатор работает в соответствие с известной формулой, позволяющей вычислить апостериорную вероятность принадлежности к классу C_k при наличии признаков X:

$$P(C_k|X) = \frac{P(C_k) \cdot P(X|C_k)}{P(X)} \quad , \qquad (1)$$

где $P(C_k)$ - априорная вероятность классов, $P(X|C_k)$ - условная вероятность признаков X, принадлежащих классу C_k или другими словами – правдоподобие и $P(X)$ - априорная вероятность признаков.

В свою очередь априорная вероятность признаков для всех классов одинакова, и её можно представить в виде постоянного коэффициента. Поэтому в решающем правиле её можно не учитывать. В рассматриваемой задаче классификации пользователей по характеру их мобильности с использованием полного классификатора Байеса мы считаем, что все классы равновероятны. Таким образом, для работы классификатора Байеса требуется только заранее рассчитать правдоподобия, представляющие собой многомерные условные вероятности.

Предлагаемый в работе алгоритм классификации пользователей по характеру их мобильности включает в себя следующие этапы: сбор многомерных данных об изменении мощности и SINR относительно пользователей и базовых станций обслуживающего сегмента гетерогенной сети, формирование многомерных таблиц с данными – тензоров, их факторизация и кластеризация [2] для автоматизированной разметки. На основе размеченных данных производится обучение полного классификатора Байеса, в процессе которого вычисляются параметры многомерных условных плотностей вероятности. Все эти вычисления производятся заранее на основе получаемых данных из сети O-RAN. Сама классификация осуществляется в реальном масштабе времени, результаты которой используются для управления мобильностью пользователей.

В работе приводятся результаты математического моделирования полного классификатора Байеса и оценки качества его работы. *Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-69-10084, https://rscf.ru/project/23-69-10084/*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайсин А. К., Коробков А. А., Сафиуллин И. А., Надеев А.Ф. Исследование зависимости параметров многомерной модели от характера мобильности в сетях O-RAN в задаче классификации групп пользователей // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2024. – Т. 29, № 4. С. 6-22.

2. Ashaev I.P., Safiullin I.A., Gaysin A.K., Nadeev A.F., Korobkov A.A. An Approach for Using a Tensor-Based Method for Mobility-User Pattern Determining. Inventions 2024, T 9, № 1.

AN ALGORITHM FOR CLASSIFYING USERS IN HETEROGENEOUS NETWORKS

Korobkov A.A., Gaysin A.K., Nadeev A.F., Safiullin I.A., Ashaev I.P.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The concept of open networks allows for the development and implementation of algorithms to improve the efficiency of heterogeneous networks. The full Bayes classifier, which is used to classify users according to their mobility patterns, is considered in this paper.

УДК 621.396.49, 512.64

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОСТЬЮ В СЕТЯХ O-RAN

Гайсин А.К., Коробков А.А., Надеев А.Ф., Сафиуллин И.А., Ашаев И.П.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Отличительной особенностью современных сетей мобильной связи является сложная и разнородная структура. Для обеспечения требуемого уровня качества обслуживания в сетях мобильной связи должны быть реализованы специализированные функции управления. В данной работе предложена модель взаимодействия элементов открытой сети радиодоступа O-RAN (рис. 1), ориентированная на интеллектуальное управление мобильностью пользователей.

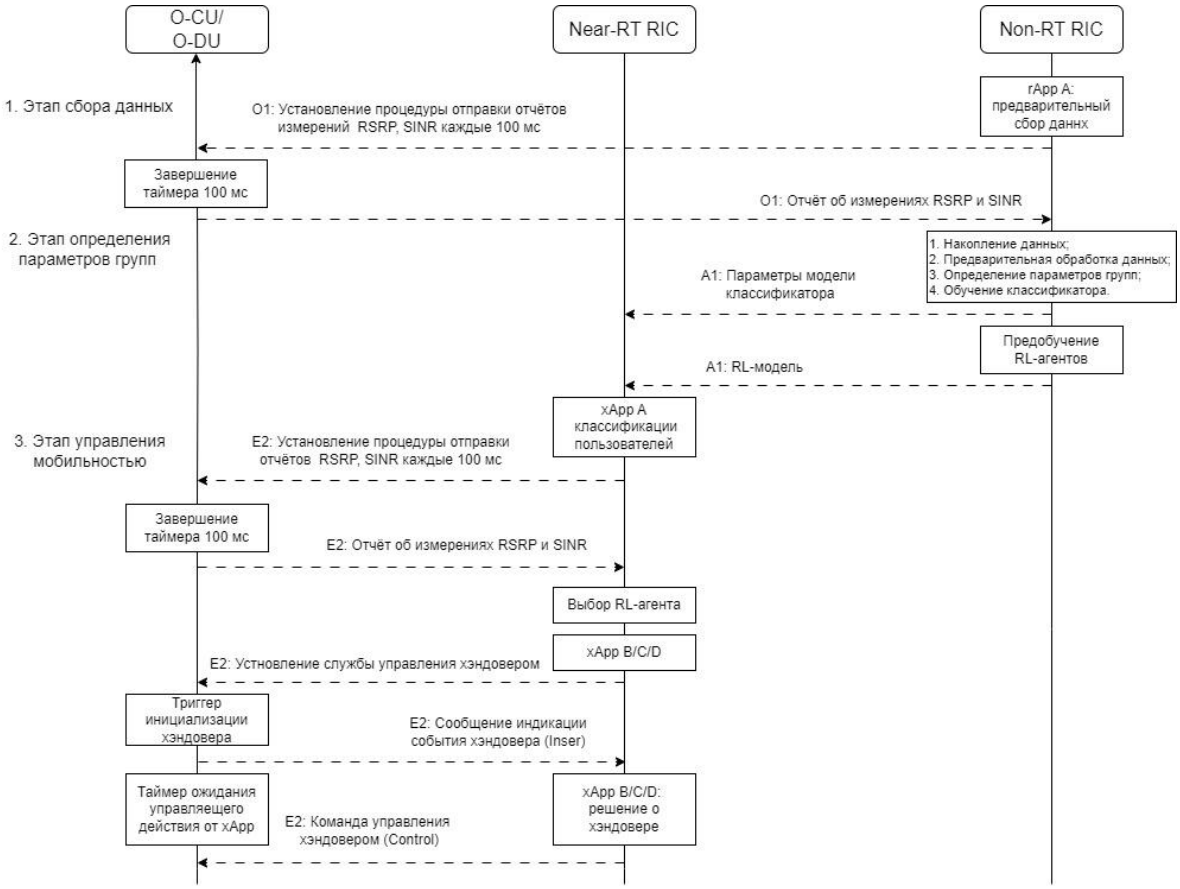


Рис. 1. Модель взаимодействия элементов сети радиодоступа O-RAN для управления мобильностью

На подготовительном этапе выполняется сбор исходных данных для обучения классификатора. Контроллер Non-RT RIC через интерфейс O1 инициирует накопление параметров RSRP (Reference Signal Received Power) и SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) от всех абонентов зоны покрытия управляемых БС (базовых станций) с периодичностью 100 мс. В rApp A осуществляется предварительная обработка массива данных и выделение

признаков для классификации пользователей по типу мобильности. Результаты передаются в rApp B, где производится обучение классификатора. Полученные параметры направляются в xApp A (near-RT RIC) по интерфейсу A1. Дополнительно в rApp A формируются RL-агенты, которые после предобучения передаются в виде RL-моделей в соответствующие xApp (near-RT RIC). На этом подготовительная фаза завершается.

Активный этап связан с определением мобильности пользователей и выбором RL-агента для управления хендовером. Сбор измерений RSRP и SINR инициируется приложением xApp A в near-RT RIC через интерфейс E2. После накопления достаточной статистики пользователи распределяются по группам, а каждому назначается соответствующее приложение для управления хендовером (на рис. 1 – xApp B, C, D). При возникновении триггера события хендовера по интерфейсу E2 в назначенный xApp направляется сообщение-индикация. Получив запрос, xApp принимает решение о необходимости хендовера и отправляет управляющее сообщение, разрешающее или запрещающее его выполнение. Таким образом, управление процессом полностью переносится в near-RT RIC, а встроенная логика базовых станций не используется.

Задачи, решаемые в рамках управления мобильностью, были рассмотрены авторами ранее в работах [1, 2]. В данной работе представлен полный цикл взаимодействия элементов сети, связывающий аналитические модели предлагаемых алгоритмов в общий процесс взаимодействия с учётом интерфейсов реальных сетей O-RAN.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-69-10084, https://rscf.ru/project/23-69-10084/

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайсин А. К., Коробков А. А., Сафиуллин И. А., Надеев А.Ф. Исследование зависимости параметров многомерной модели от характера мобильности в сетях O-RAN в задаче классификации групп пользователей // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2024. – Т. 29, № 4. С. 6-22.

2. Ashaev I.P., Safiullin I.A., Gaysin A.K., Nadeev A.F., Korobkov A.A. An Approach for Using a Tensor-Based Method for Mobility-User Pattern Determining. Inventions 2024, T 9, № 1.

AN ALGORITHM FOR CLASSIFYING USERS IN HETEROGENEOUS NETWORKS

Gaysin A.K., Korobkov A.A., Nadeev A.F., Safiullin I.I., Ashaev I.P.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The paper presents a model of interaction between O-RAN radio access network elements aimed at intelligent user mobility management. The proposed approach demonstrates the complete interaction cycle of O-RAN components, linking analytical models with real network interfaces.

УДК 004.3:621.391

ЗАДАЧИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА РАДИОЧАСТОТАХ RFML

Гребешков А.Ю., Жаворонкин Ю.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Работа посвящена прикладным аспектам применения машинного обучения как средства дальнейшего развития пассивных методов и способов идентификации радиоэлектронных средств (РЭС) по характеристикам радиоизлучения. В процессе функционирования радиопередатчика формируется так называемый «радиоотпечаток» (Radio Frequency Fingerprint, RFF), который доступен, например в виде обработанных результатов измерений на основе точек/отсчетов/сэмплов (sample) данных [1]. В общем случае способ получения в цифровом виде результатов измерений с учетом характеристик канала связи описывается выражением вида (1):

$$X_{s,R}(f) = H_R H_C H_T X_s(f) + H_R H_C + H_R H_C N_T + N_R, \qquad (1)$$

где $X_{s,R}(f)$ – результирующий цифровой IQ сигнал; H_R – импульсная характеристика фильтра приемника, H_C – импульсная характеристика канала передачи, H_T – импульсная характеристика передатчика, $X_s(f)$ – цифровой вид сигнала передатчика, N_T – характеристика аппаратного шума передатчика, N_R – характеристика шума приемника, f – частота несущей, МГц.

Измерения характеристик излучения радиоэлектронного средства (РЭС), например, включающего в состав радиочастотного контура квадратурный демодулятор или модулятор, фиксирует наличие I/Q дисбаланса при синфазно-квадратурной модуляции I/Q. Соответствующие результаты измерений, полученные с помощью устройства векторного анализатора сигнала на основе программно-определяемого радио SDR (Software Defined Radio) для целей дальнейшей обработки фиксируются в бинарной форме в виде фрагментированной последовательности данных длиной по крайней мере 128 бит с учетом используемой модели сигнала.

Полученные согласно (1) в цифровом виде данные о фазовом дисбалансе, а также в расширенном варианте сведения о фазовом сдвиге, о сдвиге несущей частоты как результат прямых и непрямых измерений объективно являются в общем случае специфическими для каждого отдельного радиоэлектронного средства и формируют радиоотпечаток в силу наличия расхождения или разброса параметров настроек, характеристик и номиналов аппаратных средств. аппаратного обеспечения и излучения радиоэлектронного средства, обусловленных процессами изготовления и условиями применения. Точность выявления разбросов в процессе измерений зависит от точности и селективности измерительной аппаратуры

В результате накопления достаточно большего массива цифровых данных машинного обучения на радиочастотах RFML (Radio Frequency Machine Learning), можно решать следующие задачи:

1. Обнаружение, классификация сигнала по типу модуляции (64QAM, GFSK, DSB-AM и др.).
2. Прогноз местоположения для пеленгования.
3. Обнаружение аномалий радиоизлучения или незаконного использования радиочастотного спектра.
4. Классификация радиоэлектронного средства по радиоотпечатку с точностью по крайней мере до типа устройства.

Перечисленные задачи решаются с помощью различных методов машинного обучения, таких как нейронные сети, метод K-ближайших соседей, метод опорных векторов SVM. Точность решения указанных задач определяется объёмом и качеством исходных данных. Наиболее сложным представляется решение задачи классификации радиоэлектронного средства по радиоотпечатку, которая может решаться с помощью нейронных сетей.

Ожидаемым результатом машинного обучения на радиочастотах с помощью нейронной сети является решение для уровня классификации нейронной сети в виде решения многопеременной логистической функции (Softmax) вида $\sigma(\hat{y})_i$, которая имеет смысл вероятности отнесения объекта к *i*-му классу РЭС, причем $\hat{y}_i$ есть предсказываемый выход Softmax для определяемого *i*-го класса РЭС и окончательно решение имеет вид:

$$\sigma(\hat{y})_i = \frac{e^{\hat{Z}_i}}{\sum_{j=1}^{K} e^{\hat{Z}_j}} \qquad (2)$$

где K – есть количество классов объектов/типов РЭС, $\hat{Z}_i$ – значение вектора–столбца (предсказания входа) для сигмоидной функции активации *i*-го класса выходного слоя нейронной сети.

Направления дальнейших исследований связаны преимущественно с обработкой известных аннотированных массивов данных, полученных с помощью формулы (1) для решения задачи классификации в части применения выражения (2) для решения задачи классификации радиоэлектронного средства по радиоотпечатку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребешков А.Ю. Исследование и анализ машинного обучения на радиочастотах RFML / Электросвязь. – № 11, 2023. – С.79-83.

MACHINE LEARNING TASKS AT RFML RADIO FREQUENCIES

Grebeshkov A.Y., Zhavoronkin Yu.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A review of the ways radio frequency machine learning can be used to solve problems related to the classification and identification of radio equipment. Future directions of studying were declared.

УДК 621.396.96

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Маскалюк В.Р., Морозов С.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Снижение радиолокационной заметности летательных аппаратов (ЛА) является одной из ключевых задач при разработке современной авиационной техники. Основной характеристикой, определяющей заметность объекта, является его эффективная площадь рассеяния (ЭПР). ЭПР сложного объекта, такого как ЛА, определяется совокупностью вкладов от отдельных его элементов, называемых «блестящими точками». Снижение ЭПР достигается как за счет придания объекту специальной формы, так и за счет применения радиопоглощающих материалов и покрытий (РПП).

Целью данной работы является постановка задачи разработки методики численного анализа эффективности РПП для снижения ЭПР типовых элементов ЛА. Разработка такой методики позволит на ранних этапах проектирования оценивать и выбирать оптимальные типы и толщины покрытий.

В качестве типовых элементов ЛА, вносящих основной вклад в ЭПР, будут рассмотрены канонические объекты:

– Металлическая пластина (моделирует плоские поверхности фюзеляжа и крыльев, Рис.1);
– Двугранный уголковый отражатель (моделирует сочленения, например, крыла и фюзеляжа).

Исследование будет проводиться методом численного моделирования в САПР Altair FEKO, позволяющем рассчитывать характеристики рассеяния объектов сложной формы [1]. РПП будет моделироваться как диэлектрический слой с комплексной диэлектрической и магнитной проницаемостью (ε_a, μ_a), нанесенный на поверхность идеально проводящего объекта.

Методика будет включать следующие этапы:

– Расчет моностатической ЭПР исходных (непокрытых) объектов в заданном диапазоне частот и углов облучения.
– Нанесение на модели объектов слоя РПП с варьируемыми параметрами (толщина, ε_a, μ_a).
– Проведение параметрического анализа для определения зависимости степени снижения ЭПР от параметров РПП.
– Формулирование рекомендаций по выбору оптимальной толщины покрытия для достижения максимального поглощения на заданной частоте.

Результаты работы позволят создать методическую основу для инженерных расчетов по снижению ЭПР и могут быть использованы при проектировании элементов ЛА с пониженной радиолокационной заметностью.

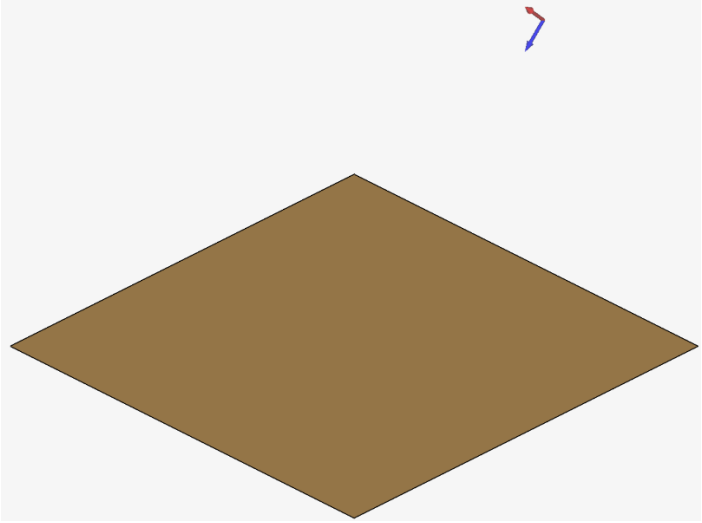


Рис. 1. Схематичное изображение одного из исследуемых объектов: плоская квадратная пластина;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов С.В., Шарыпаев А.Н. Расчет эффективной площади рассеяния тел сложной формы // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи. Материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 160-162.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF REDUCING THE EFFECTIVE DISPERSION AREA USING RADIO ABSORBING COATINGS

Maskalyuk V.R., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper states the problem of developing a methodology for reducing the radar cross-section (RCS) of typical aircraft elements using radar-absorbing materials (RAM). Lowering RCS is a critical aspect of modern stealth technology. The proposed methodology is based on numerical simulation in Altair FEKO and focuses on analyzing the effectiveness of RAM coatings when applied to canonical shapes, such as flat plates and dihedral corner reflectors, which represent major scattering centers on an aircraft. A parametric study will be conducted to investigate the influence of coating thickness and material properties (complex permittivity and permeability) on RCS reduction. The results will provide a framework for optimizing RAM applications in low-observable platform design.

УДК 621.396.67

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДИНОЧНОЙ АНТЕННЫ И АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ ДЛЯ ПРИЁМА ЛИНИИ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА

Веденькин Д. А., Гусев И. Ю.

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)

Радиоизлучение в линии 21 см – это единственный способ наблюдений нейтрального водорода. Исследование профиля линии 21 см в различных направлениях стало мощным средством изучения структуры и деталей вращения Галактики [1]. Наблюдение столь слабого сигнала предъявляет жёсткие требования к антенной системе – высокая чувствительность для регистрации слабого сигнала и управляемая диаграмма направленности (ДН), обеспечивающая необходимое соотношение между разрешающей способностью и площадью обзора. Для любительской радиоастрономии необходим компромисс между стоимостью, простотой конструкции и эффективностью.

В качестве базового элемента для данного исследования предлагается использовать антенну Яги-Уда. Моделирование происходило в среде CST Studio на частоте 1420,4 МГц, где можно провести сравнительный анализ характеристик одиночной антенны и решёток на её основе с различными конфигурациями 2x2, 5x5 и 6x6. Расчёт параметров антенны проводился для 6 элементной антенны по методике, предложенной DL6WU, которая изложена в [2].

На рис. 1 приведена ДН одиночной антенны Яги-Уда. Можно видеть, что коэффициент усиление равен 11,1, а также присутствуют небольшие боковые лепестки.

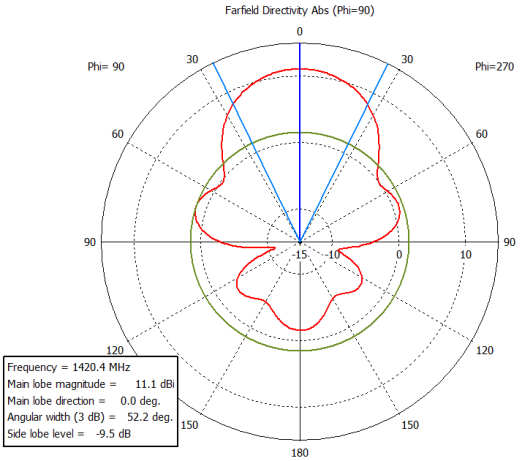


Рис. 1. ДН одиночной антенны

На рис. 2а изображена ДН антенной решётки с конфигурацией 2x2. Как видно из рисунка коэффициент усиления слегка увеличился, а боковые лепестки начали «сливаться» с главным лепестком. Подходящий компромисс для наблюдения радиоизлучения достигается при решётке 5x5 (рис. 2б). По ДН

видно, что боковые лепестки отсутствуют, коэффициент усиления имеет значение равное 16,9 дБи.

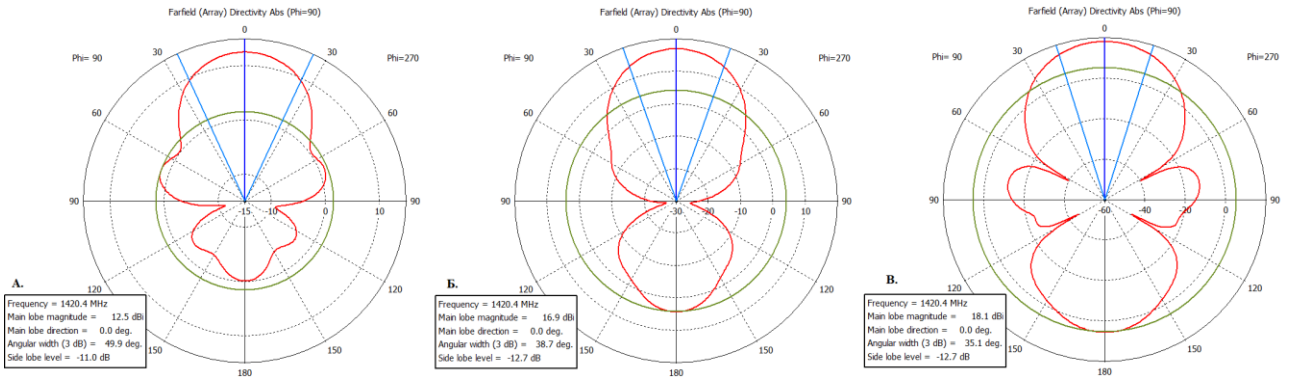


Рис. 2. а – ДН решётки из антенн 2х2, *б* – ДН решётки из антенн 5х5, *в* – ДН решётки из антенн 6х6

На рис. 2в представлена ДН для решётки 6х6, коэффициент усиления незначительно увеличился по сравнению с коэффициентом для 5х5, а также появились боковые лепестки. Дальнейшее увеличение конфигурации приводит к незначительному усилению.

Сравнительный анализ характеристик показал, что решётка конфигурации 5х5 является оптимальным решением для требуемых качественных наблюдений. Данная конфигурация обеспечивает коэффициент усиления, достаточный для уверенной регистрации сигнала, при этом дальнейшее увеличение размера решётки приводит к несущественному приросту усиления. Усложнение конфигурации ведёт к заметному усложнению конструкции и к росту уровня и количества боковых лепестков в диаграмме направленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конникова В. К., Лехт Е. Е., Силантьев Н. А. Практическая радиоастрономия // М.: Издательство Московского университета, 2011. 304 с.
2. Ротхаммель К. Энциклопедия антенн // М.: ДМК Пресс, 2016. 812 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF A SINGLE ANTENNA AND AN ANTENNA ARRAY FOR RECEIVING A NEUTRAL HYDROGEN LINE

Vedenkin D. A., Gusev I.Y.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI)

In this paper, a comparative study of the characteristics of a single Yagi-Uda antenna and an antenna array for neutral hydrogen line observation tasks is carried out. The radiation patterns of both systems, their resolution and sensitivity are compared. The results demonstrate the significant advantages of the grating in terms of spatial resolution and suppression of side lobes.

УДК 621.379

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ПИЛОТ-СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СПУТНИКОВОГО СЕГМЕНТА КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Сальников Р.О., Мешков И.К., Гизатулин А.Р., Султанов А.Х., Тимофеев А.Л.

(Уфимский университет науки и технологий)

Данное исследование представляет разработанный метод кодирования служебной последовательности пилот-сигналов для спутникового сегмента конвергентных систем связи.

Пилот-сигналы являются неотъемлемой частью современных систем связи [1], обеспечивая оценку канала, синхронизацию и другие служебные функции. Однако их использование снижает спектральную эффективность системы, поскольку часть ресурсов выделяется не для передачи полезной информации. В спутниковом сегменте конвергентных систем связи, где ресурсы особенно ценны, оптимизация использования пилот-сигналов приобретает особую значимость.

В данной работе представлен разработанный метод кодирования служебной последовательности пилот-сигналов для спутникового сегмента конвергентных систем связи, основанный на их голографическом кодировании. Ключевой особенностью предложенного метода является введение голографической служебной информационной избыточности [2], что позволяет значительно повысить информационную насыщенность каждого пилот-сигнала.

Голографическое кодирование пилот-сигналов основано на принципе записи в структуре пилот-сигнала не только амплитудной, но и фазовой информации, что позволяет каждому пилот-сигналу нести больше служебной информации. В результате становится возможным сокращение общего количества необходимых пилот-сигналов без потери качества оценки канала и синхронизации.

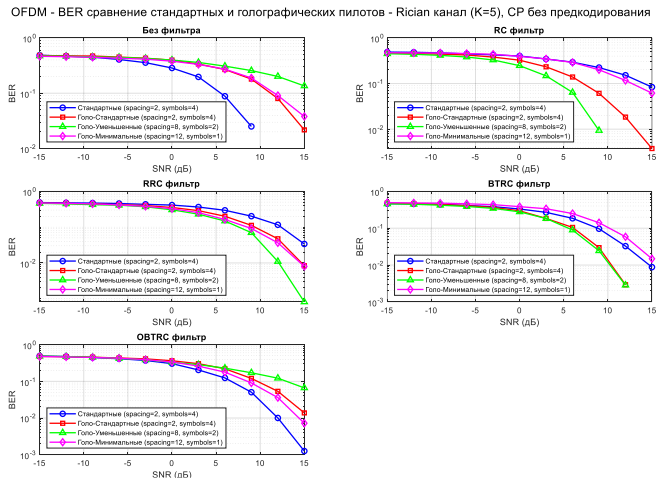


Рис. 1. Результаты сравнения использования стандартных и голографических пилот-сигналов в OFDM

Проведенное моделирование показало, что предложенный метод позволяет сократить количество пилот-сигналов на 33–50% по сравнению с традиционными подходами. Это напрямую влияет на повышение пропускной способности системы на 5–15% в зависимости от конфигурации и условий канала. Важно отметить, что такое повышение пропускной способности достигается без увеличения уровня пик-фактора (PAPR) и без значительного повышения вероятности появления битовой ошибки.

Предложенный метод может быть эффективно интегрирован в существующие и разрабатываемые стандарты спутниковой связи, обеспечивая значительное повышение их спектральной эффективности без необходимости серьезных изменений в архитектуре систем.

Исследование выполнено за счет грантовых средств от Фонда Содействия инновациям (Договор №4089ГССС15-L/100759).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ids van der Werf, Richard Heusdens, Richard C. Hendriks, Geert Leus, Optimal pilot design for OTFS in linear time-varying channels, Signal Processing, Volume 239, 2026.

2. Тимофеев, А. Л. Построение помехоустойчивого кода на базе голографического представления произвольной цифровой информации / А. Л. Тимофеев, А. Х. Султанов // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 6. – С. 978-984. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-739. – EDN QYKRXD.

HOLOGRAPHIC CODING OF PILOT SIGNALS FOR INCREASING THROUGHPUT IN THE SATELLITE SEGMENT OF CONVERGENT COMMUNICATION SYSTEMS

[1]Salnikov R.O..,[1]Meshkov I.K., [1]Gizatulin A.R., [1]Sultanov A.Kh., [1]Timofeev A.L.
([1]Ufa University of Science and Technology)

This study presents a developed method for encoding the service sequence of pilot signals for the satellite segment of 6G potential convergent communication systems.

УДК 621.376

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛА DFT-S-OFDM ДЛЯ СПУТНИКОВОГО СЕГМЕНТА КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Сальников Р.О.

(Уфимский университет науки и технологий)

Данное исследование представляет разработанный метод снижения пик-фактора (PAPR) сигнала DFT-s-OFDM на передающей стороне для спутникового сегмента потенциальных конвергентных систем связи шестого поколения.

Высокий пик-фактор (PAPR) сигналов является одной из ключевых проблем в современных системах связи [1], особенно в спутниковом сегменте. Высокое значение PAPR приводит к нелинейным искажениям при прохождении сигнала через усилители мощности, что существенно снижает энергетическую и спектральную эффективность передачи информации.

Представлен алгоритм снижения пик-фактора, базирующийся на адаптивной настройке фазовых задержек поднесущих и формировании предкодирующей матрицы с оптимизированными фазовыми углами. Поиск оптимальных фазовых углов для базовой матрицы осуществляется посредством алгоритмов машинного обучения [2] и может быть адаптирован к различным условиям канала и требованиям к передаче. Применение методов машинного обучения позволяет динамически корректировать параметры предкодирования в зависимости от текущего состояния канала, что особенно важно для спутниковых систем связи с их быстро меняющимися характеристиками.

Ключевой особенностью разработанного подхода является матричное преобразование фазовых задержек базовой матрицы предкодирования поднесущих частот [3]. Данное преобразование формирует оптимизированную структуру сигнала с более равномерным распределением энергии во временной области, что напрямую влияет на снижение пик-фактора.

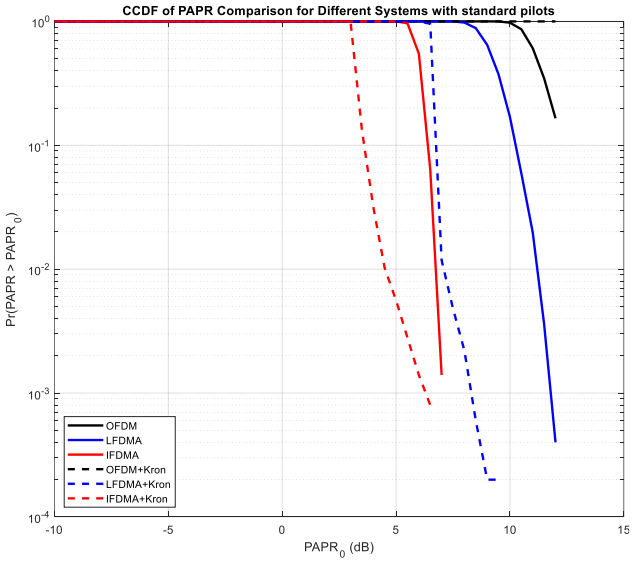


Рис. 1. Результаты имитационного моделирования для систем без предкодирования и с его использованием

Проведенное компьютерное моделирование в среде Matlab показало высокую эффективность предложенного подхода для методов доступа на базе технологии DFT-s-OFDM: локализованного частотного мультиплексирования с множественным доступом (LFDMA), и чередующегося частотного мультиплексирования с множественным доступом (IFDMA). В обоих случаях достигнуто снижение пик-фактора сигнала при сохранении спектральной эффективности передачи. Важно отметить, что данный подход также позитивно влияет на оценку частотного рассогласования в системах на базе OFDM и DFT-s-OFDM повышая устойчивость к условиям, характерным для спутниковых каналов связи.

Предложенный метод может быть эффективно интегрирован в существующие и перспективные конвергентные системы связи, обеспечивая их эффективную работу в спутниковом сегменте, так как практическая реализация метода не требует значительных изменений в существующей архитектуре систем спутниковой связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cho, Yong Soo. MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB. / Yong Soo Cho, Jaekwon Kim Won, Young Yang Chung, G. Kang // IEEE PRESS John Wiley & Sons. − 2010.

2. B. A. Jebur, S. H. Alkassar, M. A. M. Abdullah and C. C. Tsimenidis, "Efficient Machine Learning-Enhanced Channel Estimation for OFDM Systems," in IEEE Access, vol. 9, pp. 100839-100850, 2021.

3. S. Bazzi and W. Xu, "FDD Multiuser Massive MIMO Systems with Adaptive Channel Covariance Feedback," 2019 IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 1-6.3

A METHOD FOR REDUCING THE PEAK-TO-AVERAGE POWER RATIO OF DFT-S-OFDM SIGNALS IN THE SATELLITE SEGMENT OF CONVERGENT COMMUNICATION SYSTEMS

Salnikov R.O.

(Ufa University of Science and Technology)

This study presents a developed method for reducing the peak factor (PAPR) of the DFT-s-OFDM signal on the transmitting side for the satellite segment of potential convergent 6G communication systems.

УДК 621.376

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ НА ОСНОВЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО СЕГМЕНТА КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Сальников Р.О., Мешков И.К., Гизатулин А.Р., Султанов А.Х., Тимофеев А.Л.
(Уфимский университет науки и технологий)

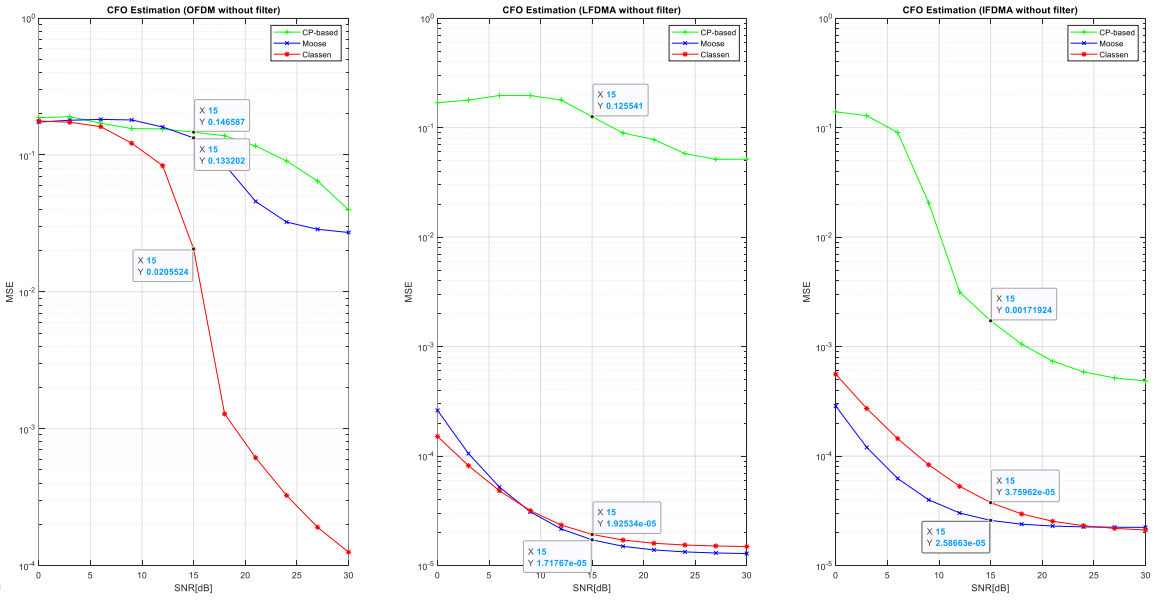
Данное исследование направлено на разработку метода формирования защитных интервалов для спутникового сегмента конвергентных систем связи на основе использования уникальных слов (Unique Word, UW) и зануленных хвостов (Zero Tail, ZT) с применением голографического кодирования.

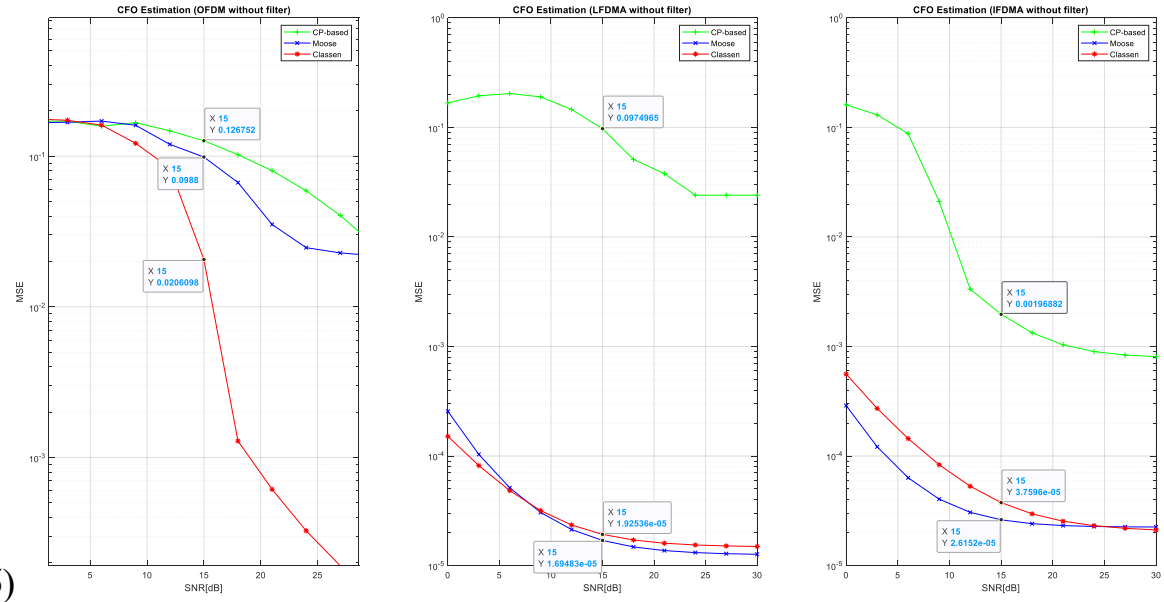
Традиционные подходы с использованием циклических префиксов (CP) имеют ряд недостатков, включая снижение спектральной эффективности и недостаточную эффективность при значительных доплеровских сдвигах, характерных для спутниковых каналов.

В данной работе представлен разработанный метод формирования защитных интервалов для спутникового сегмента конвергентных систем связи, основанный на использовании уникальных слов (Unique Word, UW) и зануленных хвостов (Zero Tail, ZT) [1] с применением голографического кодирования [2]. Отличительной особенностью предложенного метода является кодирование энергетических и фазовых характеристик основного сигнала OFDM и DFT-s-OFDM в структуре защитного интервала.

Голографическое кодирование защитных интервалов позволяет создать информационно насыщенную структуру, которая содержит в себе не только информацию для борьбы с межсимвольной интерференцией, но и дополнительную информацию о характеристиках основного сигнала. Такой подход обеспечивает повышение точности синхронизации и эффективности компенсации доплеровского сдвига.

а)





б)

Рис. 1. Результаты оценки частотного рассогласования для систем с UW *а)* Zadoff-Chu; *б)* Zadoff-Chu с использованием голографического компонента.

Проведено имитационное моделирование в среде Matlab. Моделирование показало, что использование голографически кодированных UW и ZT защитных интервалов обеспечивает улучшение синхронизации по сравнению с традиционными методами, что особенно важно для спутниковых систем связи.

Предложенный метод может быть интегрирован в существующие и перспективные стандарты спутниковой связи с минимальными изменениями в структуре передающего и приемного оборудования, что делает его практически применимым для модернизации действующих систем.

Исследование выполнено за счет грантовых средств от Фонда Содействия инновациям (Договор №4089ГССС15-L/100759).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Berardinelli G., Tavares F.M.L., Sørensen T.B., Mogensen P., Pajukoski K. Zero-tail DFT-spread-OFDM signals //IEEE Globecom Workshops. – 2013. – P. 229-234.

2. Тимофеев, А. Л. Построение помехоустойчивого кода на базе голографического представления произвольной цифровой информации / А. Л. Тимофеев, А. Х. Султанов // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 6. – С. 978-984. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-739. – EDN QYKRXD.

A METHOD FOR GUARD INTERVAL FORMATION BASED ON HOLOGRAPHIC CODING FOR THE SATELLITE SEGMENT OF CONVERGENT COMMUNICATION SYSTEMS

[1]Salnikov R.O..,[1]Meshkov I.K., [1]Gizatulin A.R., [1]Sultanov A.Kh., [1]Timofeev A.L.
([1]Ufa University of Science and Technology)

This study is aimed at developing a method for forming protective intervals for the satellite segment of convergent communication systems based on the use of unique words (UW) and Zero tails (ZT) using holographic coding.

УДК 621.376

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ЧАСТОТНОГО РАССОГЛАСОВАНИЯ В СПУТНИКОВОМ СЕГМЕНТЕ КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Сальников Р.О.

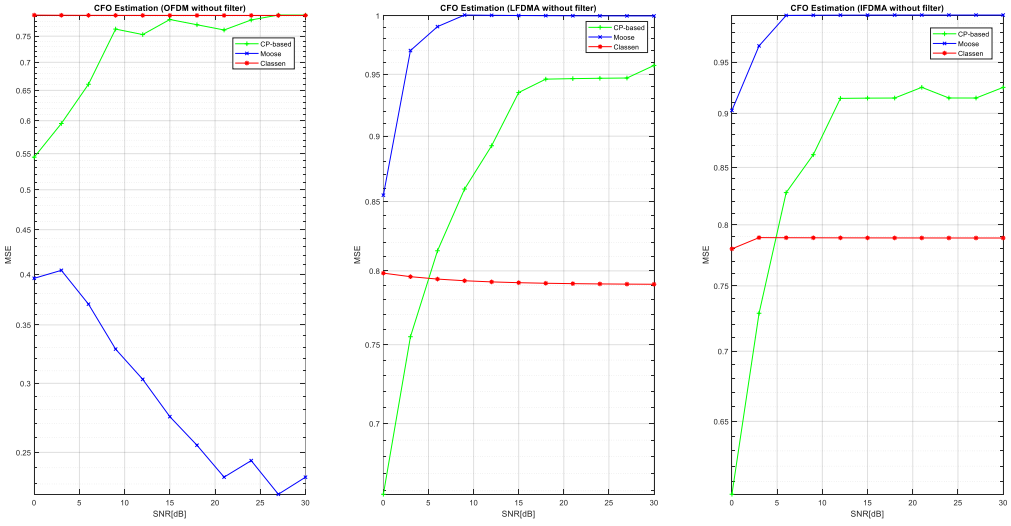
(Уфимский университет науки и технологий)

Данное исследование направлено на разработку методов повышения эффективности оценки частотного рассогласования на приемной стороне для спутникового сегмента потенциальных конвергентных систем связи шестого поколения.

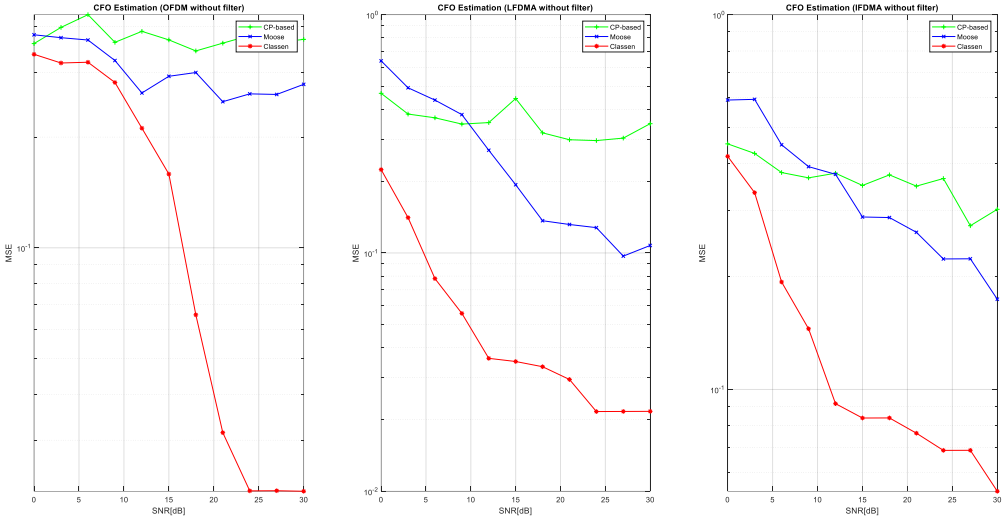
Эффективная оценка частотного рассогласования является критически важной задачей при проектировании современных спутниковых систем связи. Спутниковый сегмент потенциальных систем связи шестого поколения характеризуется сложными условиями распространения сигналов, которые включают значительные доплеровские сдвиги частоты и низкие отношения сигнал/шум. В таких условиях традиционные методы оценки частотного рассогласования зачастую не обеспечивают необходимую точность.

Предлагаемые методы основаны на корреляционном анализе опорных структур сигнала [1] с применением произведения Кронекера для матричного преобразования этих структур.

Ключевым преимуществом разработанного подхода является возможность расширения статистической выборки без увеличения длительности сигнала, благодаря формированию блочной матрицы [2] отсчетов опорных структур сигнала (циклических префиксов, пилот-сигналов). Матричное преобразование опорных структур с использованием произведения Кронекера позволяет создать расширенную корреляционную матрицу, которая содержит больше информации о частотном рассогласовании. Это позволяет повысить точность оценки различными методами, значительно снижая величину среднеквадратичной ошибки.



а)



б)

Рис. 1. Результаты оценки рассогласования (CFO = 0.5) в канале Райса а) стандартными методами; б) методами с использованием произведения Кронекера.

Имитационное моделирования проведено в среде Matlab для различных сценариев спутниковой связи. Результаты моделирования показывают, что разработанные методы позволяют увеличить диапазон достоверной оценки частотного рассогласования до ±0.5 от нормированной частоты поднесущей, что значительно превосходит возможности существующих методов.

Предложенные методы могут быть эффективно интегрированы в существующие спутниковые системы связи, обеспечивая повышенную надежность и качество связи в сложных условиях распространения сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cho, Yong Soo. MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB. / Yong Soo Cho, Jaekwon Kim Won, Young Yang Chung, G. Kang // IEEE PRESS John Wiley & Sons. − 2010.

2. B. Sokal, P. R. B. Gomes, A. L. F. de Almeida; M. Haardt, Joint Channel, Data, and Phase-Noise Estimation in MIMO-OFDM Systems Using a Tensor Modeling Approach, in Proc. ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2021.

REQUIREMENTS FOR THE DESIGN OF THE ABSTRACTS OF THE REPORT

Salnikov R.O.

(Ufa University of Science and Technology)

This study aims to develop methods for improving the efficiency of the carrier frequency offset estimation on the receiving end for the satellite segment in potential convergent 6G communication systems.

УДК 621.396.67

РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНЫХ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МАЛОГО КЛАССА

Хайруллин Р.Н., Филиппов С.Б.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Бурное развитие космонавтики, связанное с созданием группировок малых космических аппаратов (МКА) – наноспутников (CubeSat) и микроспутников, предъявляет жесткие требования к антенно-фидерным устройствам (АФУ). Они должны сочетать малые массогабаритные показатели, высокую энергетическую эффективность, надежность в экстремальных условиях космического пространства и способность работать в нескольких частотных диапазонах для решения задач связи, телеметрии и навигации [1].

Для интеграции в крайне ограниченный объем МКА необходимо применение современных технологий и материалов. Антенны на основе микрополосковых и щелевых структур (PIFA, патч-антенны) идеально подходят для интеграции в поверхности CubeSat, обеспечивая низкий профиль и возможность создания конформных и многодиапазонных решений [2].

При этом применение современных диэлектрических подложек (например, на основе PTFE, керамики) с оптимальным соотношением диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь позволяет уменьшить геометрические размеры антенн без значительного снижения КПД.

Для задач, требующих высокой направленности (высокоскоростная передача данных), разрабатываются компактные развертываемые антенны (например, спиральные, антенны типа «зонтик»), которые в сложенном состоянии занимают минимум места, а на орбите раскрываются до рабочего состояния [3].

При разработки малогабаритных антенных устройств необходимо уделять внимание повышению надежности и устойчивости к внешним воздействиям. АФУ должны выдерживать многократные термические циклы (от -150°C до +150°C). Это требует применения материалов с близкими коэффициентами теплового расширения и проведения конечно-элементного анализа (FEA) [4].

Перспективным направлением является проектирование интегрированных антенных систем «antenna-in-package», где антенна становится частью корпуса или солнечной панели спутника. Сочетание современных материалов (метаматериалы, ESA — Electronically Steerable Antennas), точного электродинамического моделирования (HFSS, CST) и технологий 3D-печати позволит создавать высокоэффективные, компактные АФУ, являющиеся ключевым элементом для реализации миссий следующего поколения на базе МКА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуприна М.А., Юдинцев А.В. Современные тенденции развития антенно-фидерных устройств для малых космических аппаратов // Электросвязь. – 2022. – № 5. – С. 45-50.

2. Huff G.H., Bernhard J.T. Integration of packaged RF MEMS switches with radiation pattern reconfigurable square spiral microstrip antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2006. – Vol. 54, No. 2. – P. 464-469.

3. Hodges R.E., Chahat N., Hoppe D.J., Vacchione J.D. A Deployable High-Gain Antenna Bound for Mars: Developing a New Folded-Panel Reflectarray for the First CubeSat Mission to Mars // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2017. – Vol. 59, No. 2. – P. 39-49.

4. Gilmore D.G. Spacecraft Thermal Control Handbook. – 2nd ed. – The Aerospace Press, 2002.

DEVELOPMENT OF SMALL-SIZED AND HIGHLY EFFICIENT ANTENNA-FEEDER DEVICES FOR SMALL-CLASS SPACECRAFT

Khairullin R.N., Filippov S.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This study addresses the design challenges of antenna systems for small satellites (CubeSats, microsatellites), focusing on the critical balance between miniaturization and performance. It explores innovative solutions including:

- Planar and deployable antenna designs (PIFA, patch, spiral)
- Advanced dielectric substrates (PTFE, ceramics)
- Thermal-resistant materials and FEM analysis
- Integrated "antenna-in-package" concepts

The research highlights emerging technologies such as metamaterials, electronically steerable antennas (ESA), and 3D-printing for developing next-generation compact, efficient, and reliable antenna systems capable of meeting multi-band communication, telemetry, and navigation requirements in extreme space conditions.

УДК 629.783

РОЛЬ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МОНИТОРИНГЕ ИОНОСЕРЫ

Печенкин О.П., Клинов В.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В статье анализируется влияние малых космических аппаратов (МКА) на развитие инфокоммуникаций и их роль в мониторинге ионосферы. Рассмотрены преимущества МКА, примеры группировок и интервалы обновления данных. Обсуждаются перспективы использования разночастотных сигналов МКА для повышения точности и оперативности наблюдений [1].

Современное развитие инфокоммуникаций невозможно без малых космических аппаратов (МКА), кардинально изменивших подходы к построению спутниковых систем [1]. Благодаря миниатюризации, снижению стоимости и ускорению цикла разработки, МКА приобрели высокую востребованность как в коммерческом, так и в научном секторах.

К малым космическим аппаратам (МКА) относят спутники массой до 500 кг (микро-, нано-, пикоспутники) [1, 6]. Их преимущества включают [1, 2]:

- Низкую стоимость производства и запуска, обеспечивающую создание крупных группировок.
- Гибкость и скорость внедрения технологий благодаря короткому циклу разработки.
- Возможность резервирования и масштабирования каналов связи.

Области применения МКА обширны [1, 3-6]:

- **Глобальный интернет и связь**: группировки (Starlink, OneWeb) обеспечивают высокоскоростной доступ с низкой задержкой [2].
- **Интернет вещей (IoT)**: предоставление связи для удалённых устройств в логистике, сельском хозяйстве и экологии.
- **Ретрансляция данных**: организация передачи данных и резервных каналов связи.
- **Научные и образовательные проекты**: платформы CubeSat используются для исследований и подготовки кадров [6].

Ключевым применением МКА является мониторинг ионосферы путём анализа трансионосферных сигналов от группировок (Starlink, OneWeb и др.). Проходя через ионосферу, сигналы претерпевают задержки и искажения, зависящие от электронной концентрации, что позволяет получать глобальные данные о её состоянии. Главное преимущество крупных группировок — высокая частота обновления данных.

Starlink (~5000 спутников): интервал обновления — 1–5 минут.

OneWeb (~650 спутников): интервал — 5–10 минут.

Iridium NEXT (66 спутников): интервал — ~10 минут.

Несмотря на работу группировок в разных частотных диапазонах (Ku, Ka, L), это не препятствует мониторингу. Более того, совершенствование методов обработки сигналов позволит в перспективе сопоставлять и интегрировать разночастотные данные, что значительно повысит точность, достоверность и пространственно-временное разрешение мониторинга ионосферы. Рост числа МКА и разнообразие частотных диапазонов открывают новые перспективы для мониторинга ионосферы. Это подтверждается запуском специализированных аппаратов, таких как «Ионосфера-М», и планами по созданию новых группировок [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каширин, И. А., & Каширин, А. И. (2021). Малые космические аппараты: современные тенденции и перспективы развития. *Вестник РКК "Энергия"*, 3(68), 45-52.
2. Handley, M. (2019). Delay is Not an Option: Low Latency Routing in Space. *Proceedings of the 17th ACM Workshop on Hot Topics in Networks*, 85-91.
3. SpaceX. (2024). Starlink Mission Updates. https://www.spacex.com/launches/
4. OneWeb. (2024). OneWeb Satellite Constellation. https://oneweb.net/
5. Iridium Communications Inc. (2024). Iridium NEXT Constellation. https://www.iridium.com/network/
6. Кузнецов, В. Д., & Сидоренко, В. В. (2020). Использование малых спутников для мониторинга ионосферы. *Радиотехника и электроника*, 65(9), 1021-1028.

ROLE OF SMALL SPACECRAFT IN THE DEVELOPMENT OF MODERN INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES AND IONOSPHERIC MONITORING

Pechenkin O.P., Klinov V.D.
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

This article examines the impact of small spacecraft (SSC) on the development of infocommunication technologies and their role in ionospheric monitoring. The analysis of SSC advantages, examples of modern satellite constellations, and an assessment of data update intervals for monitoring tasks are provided. The prospects of using SSC signals in various frequency ranges to improve the accuracy and efficiency of observations are discussed.

УДК 621.396.946

ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ СЛЕПОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ДАЛЬНЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Тяпкин П.С., Важенин Н.А., Плохих А.П.

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) МАИ)

В предыдущих работах [1,2] была показана высокая эффективность применения методов слепого разделения сигналов, основанных на базе метода анализа независимых компонент, для подавления импульсных помех от стационарных плазменных двигателей (СПД) в системах дальней космической связи. В ряде случаев моделирование и экспериментальные исследования подтвердили возможность достижения значительного энергетического выигрыша от применения алгоритмов SOBI, FastICA, JADE и AMUSE при приёме смесей по сравнению со случаем без слепого разделения. Однако практическое применение этих алгоритмов ограничено их вычислительной сложностью: в реализованном тестовом стенде с применением ПК, пропускная способность алгоритмов слепого разделения не превышала 1 кбит/с при работе в режиме реального времени [3].

В настоящей работе рассматривается подход к созданию аппаратного модуля обработки сигналов, реализующего алгоритм SOBI на базе ПЛИС семейства Xilinx Kintex-7. Основное внимание уделено адаптации алгоритма к арифметике с фиксированной точкой и поэтапной организации вычислений, что позволяет существенно сократить затраты ресурсов логики и времени на обработку данных. Для реализации предложена конвейерная архитектура, включающая блоки оценки статистических характеристик смесей, ортогонализации компонент и итерационных преобразований для адаптации весовых матриц. Такая структура обеспечивает возможность аппаратной реализации широкого класса алгоритмов слепого разделения сигналов на базе метода анализа независимых компонент.

Разработанная структура обеспечивает возможность полного параллелизма на уровне матричных операций и независимую обработку каналов в конвейере. По результатам предварительного синтеза для ПЛИС XC7K325T, при тактовой частоте 400 МГц и глубине конвейера порядка 10–12 стадий, обеспечивается прирост производительности более чем в 100 раз по сравнению с реализацией на центральном процессоре ПК.

Отдельное внимание уделено вопросам верификации и автоматизации проектирования. При разработке RTL-модулей использовался метод модельно-ориентированного проектирования, в том числе, с автоматической генерацией кода и верификацией с использованием средств Python (cocotb, PyVerilator).

Таким образом, предложенный подход открывает возможность перехода от программных моделей алгоритмов слепого разделения сигналов к аппаратным

модулям обработки сигналов, интегрируемым в состав перспективных систем дальней космической связи, работающих в условиях интенсивных электромагнитных помех от СПД.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00515.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тяпкин П.С., Важенин Н.А., Плохих А.П. Повышение помехоустойчивости систем дальней космической связи при воздействии помех от стационарных плазменных двигателей // Изв. вузов. Авиационная техника. 2024. № 2. С. 185–196.

2. Тяпкин П.С., Важенин Н.А., Плохих А.П. Анализ эффективности методов борьбы с помеховым излучением стационарных плазменных двигателей в системах дальней космической связи // Изв. вузов. Авиационная техника. 2025. № 2. С. 201–207.

3. Тяпкин П.С. Аппаратно-программный комплекс для отработки методов слепой обработки сигналов в радиосистемах // Труды МАИ. 2023. № 129. 31 с.

HARDWARE IMPLEMENTATION OF BLIND SOURCE SEPARATION ALGORITHMS FOR IMPROVING THE INTERFERENCE IMMUNITY OF DEEP SPACE COMMUNICATION SYSTEMS

Tyapkin P.S., Vazhenin N.A., Plokhikh A.P.
(Moscow Aviation Institute (National Research University) MAI)

Abstract. This paper presents an approach to the hardware implementation of blind source separation (BSS) algorithms aimed at suppressing impulsive interference from stationary plasma thrusters in deep space communication systems. Previous research has demonstrated the effectiveness of second-order and higher-order ICA methods (such as SOBI, FastICA, JADE, and AMUSE) in improving the signal-to-interference ratio by up to 15–20 dB without using reference channels. However, software implementations are limited by computational throughput, which does not exceed 1 Kbps in real-time operation.

The proposed design is based on a pipelined FPGA architecture (Xilinx Kintex-7 XC7K325T) optimized for fixed-point arithmetic and iterative matrix processing. The modular structure includes blocks for statistical estimation, orthogonalization, and iterative weight adaptation, enabling parallel processing of input channels.

Synthesis results show that at a 400 MHz clock frequency and a pipeline depth of 10–12 stages, the system represents more than 100 times performance improvement over the CPU-based prototype.

The use of Python- and MATLAB-based verification tools allowed consistent alignment between algorithmic models and the RTL implementation, significantly simplifying the debugging process. The proposed architecture can serve as a basis for future on-board DSP modules in deep space communication systems operating under stationary plasma thrusters.

УДК 621.396.49, 512.64

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ХЭНДОВЕРЕ НА ОСНОВЕ RL МОДЕЛИ

Ашаев И.П., Сафиуллин И.А., Коробков А.А., Гайсин А.К., Надеев А.Ф.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В перспективных беспроводных мобильных сетях пятого поколения 5G NR увеличение количества базовых станций и подключенных устройств в совокупности с их мобильностью создают серьезные проблемы и делают задачу управления мобильностью ещё более востребованной. Поэтому для решения данной задачи необходимы передовые технологии управления процессом хэндовера [1]. Данная работа фокусируется на одном из критических видов хэндовера, который в литературе встречается как «эффект пинг-понга».

Концепция O-RAN отказывается от закрытой архитектуры сетей мобильной связи, построенных на оборудовании одного вендора. Вместо этого предлагается использовать архитектуры открытых сетей радиодоступа. Кроме этого, предлагается внедрение интеллектуального контроллера сети радиодоступа RIC, который должен взять на себя функции интеллектуального управления в сетях O-RAN [2]. RIC может быть применён для сбора большого объёма данных в сетях 5G NR, для анализа которого могут применяться искусственный интеллект и алгоритмы машинного обучения. В данной работе предлагается использование метода машинного обучения под названием обучение с подкреплением (Reinforcement Learning — RL).

Главной идеей предлагаемого алгоритма является разделение пользователей на группы и дальнейшее управление хэндовером отдельно для каждой группы. Предлагаемое решение фокусируется на пользователях с высокой мобильностью, потому что они более подвержены неэффективным хэндоверам. Также мы предлагаем учитывать тот факт, что мобильные пользователи могут двигаться только по фиксированным траекториям, конфигурация которых диктуются городской застройкой. Эти факты учитываются в данной работе для оптимизации процесса хэндовера.

Предлагаемый метод состоит из двух частей, а именно первая часть работает в нереальном времени (non-real-time), и вторая часть обрабатывает данные в около реальном времени (near real-time). В парадигме O-RAN данные части располагаются в non-real-time (RT) RIC и в near-RT RIC соответственно. Детальное описание non-RT алгоритма приведено в работе [3].

Описание near-RT алгоритма, который может быть реализован в виде xApp, приведено ниже. На основе принятых отчётов производится классификация пользователей, которая в около реальном времени определяет принадлежность пользователя к той или иной группе. Если пользователь успешно классифицирован, то ему присваивается соответствующий RL агент.

В качестве RL агента был выбран алгоритм Double Deep Q-Network (DDQN), так как он имеет небольшое время сходимости, что очень важно для обучения RL-агента в работающей сети.

Пространством состояний являются значения Reference Signal Received Quality (RSRQ) от каждого пользователя и загруженность базовых станций (БС). В качестве пространства действий используется переключение пользователя ко всем возможным БС в рассматриваемом сценарии. Функция награды является интегральной функцией, которая учитывает значение RSRQ как от обслуживающей БС, так и от соседних БС. Также функция учитывает загруженность обслуживающей и соседних БС. Кроме этого, для минимизации «эффекта пинг-понга» учитывается количество хэндоверов в определенный промежуток времени.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что RL агент научился игнорировать кратковременные провалы в уровне мощности сигнала, тем самым избегая «эффекта пинг-понга». В сравнении с традиционным вариантом хэндовера предлагаемый RL агент уменьшает количество переключений пользователей, при этом сохраняя общую пропускную способность. В случае с перегруженной сотой, в процессе обучения RL агент выработал «понимание», что переключение к БС с большим RSRQ не приводит к увеличению скорости передачи данных.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-69-10084, https://rscf.ru/project/23-69-10084/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agiwal M., Roy A., Saxena N. Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2016. – Т. 18. С. 1617–1655.

2. O-RAN Alliance, O-RAN: Towards an Open and Smart RAN.

3. Ashaev I.P., Safiullin I.A., Gaysin A.K., Nadeev A.F., Korobkov A.A. An Approach for Using a Tensor-Based Method for Mobility-User Pattern Determining // Inventions. – 2024. – Т. 9, № 1. С. 1.

HANDOVER DECISION ALGORITHM BASED ON REINFORCEMENT LEARNING

Ashaev I.P., Safiullin I.A., Korobkov A.A., Gaysin A.K., Nadeev A.F.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

In fifth-generation wireless mobile networks, the growing number of base stations and connected user devices poses significant challenges and makes mobility management even more pressing. Therefore, advanced handover techniques are needed to address this issue. This article examines one of the most important types of handover, known in the literature as the "ping-pong effect". In this study, we propose a model for handover control based on the offline reinforcement learning algorithm that optimizes handover decisions taking into account quality of the signal, number of handovers and throughput.

УДК 621.396

АДАПТИВНЫЙ МЕТОД АКТУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЧИРПИРОВАНИЯ ПРИ РАССОГЛАСОВАНИИ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА

Иванов Д.В., Кислицын А.А.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»)

Обеспечение устойчивой передачи широкополосных волновых пакетов в условиях динамически изменяющихся трансионосферных радиоканалов является ключевой задачей современной спутниковой связи. Широкополосный трансионосферный радиоканал подвержен деградации из-за дисперсионных эффектов, вызывающих нелинейные искажения его ФЧХ [1]. Поэтому определение периода рассогласования канала, по истечении которого его системные характеристики выходят за допустимые пределы является актуальной проблемой. Можно предположить, что за сохранение инвариантности системных характеристик в момент рассогласования канала требуется своевременная оптимизации параметров чирпирования, компенсирующих дисперсию ФЧХ канала.

Целью исследования была разработка метода и алгоритмов адаптивной актуализации параметров чирпирования по истечении времени жизни (рассогласования) широкополосного трансионосферного радиоканала для повышения устойчивости и эффективности систем трансионосферной радиосвязи.

Показано, что для оценки параметров чирпирования необходимы текущие данные о вертикальных TEC. Предложенный метод оценки VTEC основан на использовании данных сенсорной диагностики каналов путем обработки сигналов ГНСС. Информация о текущих значениях VTEC позволяет рассчитать коэффициент разложения ФЧХ в ряд Тейлора. Особый интерес для исследования чирпирования представляет фазовая составляющая второго порядка, которая непосредственно связана с параметром дисперсии групповой задержки.

Ключевым этапом исследования является анализ времени деградации канала, которое главным образом определяется скоростью изменения VTEC в геофизическом времени [2]. Алгоритм задачи включает вычисление изменения в медленном времени параметра дисперсии задержки (GDD) и на этой основе актуализацию параметра чирпа по достижению им критического уровня. Установлено, что из-за геофизического фактора, время деградации канала будет уменьшаться при возрастании скорости изменения VTEC ионосферы и при расширении полосы частот трансионосферного канала.

Натурные исследования проводились с использование развитых аппаратно-программных средств, включающие навигационный терминал YOSH, программные модули первичной и вторичной обработки (AbsTecStat_graph). На основе полученных экспериментальных результатов изменения VTEC установлены временные интервалы для повторной актуализации параметров чирпирования и технических характеристик систем широкополосной

трансионосферной связи. Для оценок при наклонных трассах и произвольных рабочих частот выявлена связь с ключевой характеристикой для вертикальной трассы и эталонной рабочей частоты, равной 1 ГГц. Показано, что в условиях проведенных экспериментов для вертикальной трассы и эталонной частоты время деградации широкополосного трансионосферного канала не превышает 0,5 часа – в переходное время суток и - 1,5 часа – в дневные часы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-19-00153.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обеспечение предельной широкополосности систем спутниковой радиосвязи в условиях внутримодовой дисперсии трансионосферных радиоканалов / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, А. А. Кислицын // Радиотехника и электроника. 2023. Т. 68, № 6. С. 571-578. DOI 10.31857/S0033849423060049

2. Degradation Period of Anomalous Dispersion Parameter of Transionospheric Wideband Radio Communication Channel / N. V. Ryabova, D. V. Ivanov, V. A. Ivanov, A. A. Kislitsin // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2022. – Vol. 5, No. 1. – P. 292-296. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO55067.2022.9840973. – EDN SLFYRG.

ADAPTIVE METHOD FOR UPDATING CHIRP PARAMETERS IN A TRANSIONOSPHERIC RADIO CHANNEL

Ivanov D.V., Kislitsin A.A.
(Volga State University of Technology)

Abstract. An adaptive method for updating chirp parameters has been developed to enhance the stability and efficiency of wideband transionospheric communication systems. This method is triggered when the channel's coherence time is exceeded (leading to mismatch). It utilizes channel state information obtained by processing GNSS signals. The algorithm involves calculating the slow-time variation of the Group Delay Dispersion (GDD) parameter and updates the chirp parameters based on this calculation once the GDD reaches a critical threshold. Experimental results show that, under the tested conditions, the coherence time of a wideband transionospheric channel on a vertical path does not exceed 0.5 hours during twilight periods and 1.5 hours during daytime.

УДК 621.396

СОБЫТИЙНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОИСК ЛУЧА С АДАПТИВНЫМ ФУНКЦИОНАЛОМ КАЧЕСТВА В СЕТЯХ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ ДЛЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ

Лопухова Е.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

Проблематика управления максимумом диаграммы направленности или лучом (англ. beam management) в сетях новых поколений миллиметрового диапазона обусловлена доплеровской деградацией эффективного отношения сигнал/шум (англ. Signal-to-Noise Ratio, SNR) и протокольными ограничениями доступных слепых декодирований на временно слот (англ. blind decoding, BD) по 3GPP TS 38.213, что лимитирует число переключений луча у абонентского оборудования (англ. User Equipment, UE). Дополнительно учитываются требования к разносу поднесущих (англ. Subcarrier Spacing, SCS) и контроля элементов управления (англ. Control Channel Elements, CCE). Для скоростей 80 км/ч и выше каждое переключение вносит доплеровскую потерю порядка более 0,5 дБ, а бюджет BD (44 на слот при SCS 15/30 кГц) быстро исчерпывается [1–3].

Метод формализован в классе гибридных дискретно-событийных систем: гибридная модель задаётся четвёркой $\mathrm{H} = (C, f, D, g)$, где C – множество потока, f – поле непрерывной динамики, D – множество скачка, g – отображение скачка. Введём ключевые множества:

$$C = \{(x,k) |\ \mathrm{SNR}_{\mathrm{eff}}(k) - \mathrm{SNR}_{\mathrm{ref}} < 0 \text{ or } \nabla J_k > \varepsilon_{\mathrm{grad}}\},$$
$$D = \{(x,k) |\ \mathrm{SNR}_{\mathrm{eff}}(k) - \mathrm{SNR}_{\mathrm{ref}} \geq 0, \nabla J_k \leq \varepsilon_{\mathrm{grad}}\} \cup \{k \geq k_{\max}\}. \quad (1)$$

где $x=[x_{\mathrm{cont}}, x_{\mathrm{SNR}}, x_{\mathrm{cost}}]^{\mathrm{T}}$ – состояние (внутреннее «время» оценивания, оценка SNR текущего луча, накопленные издержки BD/доплер), $k \in \square_0$ – номер события (переключения), $\mathrm{SNR}_{\mathrm{ref}}$ – порог доступа по SNR, $\varepsilon_{\mathrm{grad}}$ – порог малости градиента, $k_{\max}$ – предел по BD. Выбор следующего луча b_{new} в g реализуется политикой, балансирующей исследование/эксплуатацию, например, байесовская оптимизация верхней доверительной границы гауссовского процесса (ОВДГП), с учётом издержек измерений и эффекта Доплера. Ключевым является адаптивный функционал качества, обеспечивающий единую логику остановки/переключения и соблюдение бюджетов:

$$J_k^{(2)} = \sum_{i=0}^{k} \Big[-\mathrm{SNR}_{\mathrm{eff}}(b_i, i) + \lambda_{\mathrm{fact}} \ln \Gamma(i+1) + \lambda_{\mathrm{reg}} \Psi_{\mathrm{BD/CCE}}(i) \Big]. \quad (2)$$

где $\mathrm{SNR}_{\mathrm{eff}}(b_i, i) = \mathrm{SNR}_{\mathrm{meas}}(b_i) - \gamma f_D i T_{\mathrm{switch}}$ (где f_D – доплеровская частота с коэффициентом линейной деградации γ, T_{switch} – цикл измерения/переключения, $\ln \Gamma(i+1) \approx i \ln i - i$ – гладкая аппроксимация факториала (усиливает штраф при росте частоты событий), $\Psi_{\mathrm{BD/CCE}}$ – квадратичная пенализация превышений

бюджетов BD и CCE, $\lambda_{\text{fact}}, \lambda_{\text{reg}} > 0$ – веса для регуляции важности переменных. Для выбора момента остановки используется разностный градиент:

$$\nabla_k J_k^{(2)} = -\text{SNR}_{\text{eff}}(b_k, k) + \lambda_{\text{fact}} \left(\ln k\right) + \lambda_{\text{reg}} \Delta\Psi_{\text{BD/CCE}}(k), \quad (3)$$

Были получены результаты исследования предложенного функционала: 1) Единственность глобального минимума: при $\text{SNR}_{\text{eff}}(b_k, k) = \text{SNR}_0 - \gamma f_D k T_{\text{switch}} + \xi_k$ с нулесредним шумом ξ_k математическое ожидание $\text{E}[J_k^{(2)}]$ строго выпукло на $k \in [1, k_{\max}]$; существует единственный глобальный минимум, причём $\nabla_k \text{E}[J_k^{(2)}]$ меняет знак единожды (возрастает благодаря ln *k* и пенализации BD/CCE). 2) Вероятностная сходимость выбора луча: при политике ОВДГП на окружности кодбука кумулятивная сложность растёт сублинейно – $O(\sqrt{k} \log k)$; тогда $\text{P}(b_k = b_{\text{opt}}) \to 1$ и для конечного бюджета достигается $\text{SNR}(b_{\text{opt}}) - \text{SNR}(b_k) \le \delta$ с заданной вероятностью, что согласует обучение с ограничениями BD. Связь с непрерывной динамикой обеспечена через стабилизирующую добавку в виде линейного квадратичного регулятора к *J*, задающую локальную экспоненциальную устойчивость непрерывной части и исключающую присутствие эффекта Зенона.

Таким образом, предложен событийно-управляемый поиск луча, в котором единый функционал $J_k^{(2)}$ с факториальной пенализацией и учётом BD/CCE гарантирует единственность глобального минимума и вероятностную сходимость байесовской политики выбора луча при высоких скоростях UE, удовлетворяя требованиям 3GPP TR 38.901/TS 38.213 и ограничивая сигнализационные издержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NR; Physical layer procedures for control [Текст]: 3GPP TS 38.213 / 3GPP, 2022.
2. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz [Текст]: 3GPP TR 38.901 / 3GPP, 2019.
3. Convex optimization [Текст] / S. Boyd, L. Vandenberghe. — Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

EVENT-DRIVEN BEAM SEARCH WITH ADAPTIVE QUALITY FUNCTIONALITY IN NEW GENERATION NETWORKS FOR HIGHLY MOBILE SUBSCRIBERS

Lopukhova E.A.
(Ufa University of Science and Technology)

In this study, the 5G NR mmWave beam control model was developed as a hybrid event-driven system with adaptive quality J. The uniqueness of the global minimum J on an acceptable discrete grid and the high probability of convergence of beam selection under 3GPP constraints were proved.

Секция 4. Защита информации в инфокоммуникационных сетях.

УДК 004.056.53

ВЕРИФИКАЦИЯ УЗЛОВ В РЕЖИМЕ RTU ПРОТОКОЛА MODBUS НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Южаков А.А., Ощепков Н.В.

(ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ))

Протокол Modbus является одним из наиболее распространённых протоколов, используемых в системах автоматизации и управления технологическими процессами (АСУ ТП). Его популярность объясняется простотой реализации, гибкостью для модификации и удобством интеграции в промышленную инфраструктуру. Благодаря открытой архитектуре и низким затратам на внедрение, Modbus широко используется как в промышленных системах, так и в составе устройств промышленного интернета вещей (IIoT).

Тем не менее режим RTU наряду с достоинствами имеет и серьёзные недостатки. Ключевая уязвимость заключается в отсутствии механизмов аутентификации и верификации взаимодействующих узлов — как ведущего (master), так и ведомых (slave) устройств.

Отсутствие встроенной проверки подлинности открывает возможности для злоумышленника осуществить ряд атак на инфраструктуру. Среди наиболее опасных — атака типа «человек посередине» (Man-in-the-Middle), а также атака подмены узла. Подобные сценарии особенно критичны в системах, где требуется гарантированная точность передачи, обработки и хранения информации.

Наличие такой уязвимости ставит под угрозу три ключевых аспекта информационной безопасности — конфиденциальность, целостность и доступность данных. Более того, при грамотной эксплуатации атакующий способен длительное время оставаться незамеченным внутри системы, что существенно повышает риски для предприятия или бизнеса в целом. Исключить такой сценарий полностью в существующей реализации протокола невозможно.

Для устранения данного недостатка предлагается внедрить механизм верификации на основе временных интервалов.

Суть метода заключается в том, что каждое ведомое устройство отслеживает временной профиль запросов, поступающих от ведущего устройства. В нормальном режиме работы циклы опроса и интервалы между запросами достаточно стабильны и могут быть заранее определены для конкретной системы.

Таким образом:

- на этапе конфигурации фиксируются ожидаемые временные интервалы взаимодействия;
- при получении пакета ведомое устройство сравнивает фактический интервал с эталонным;

- если интервал укладывается в допустимые границы — запрос принимается как подлинный;
- при отклонении от профиля запрос может быть отклонён или помечен как подозрительный.

Преимущества подхода:

- внедрение с минимальными изменениями в исходном коде протокола;
- использование диапазона функций, которые предназначены для конфигурирования пользователем;
- простота реализации: проверка основывается на синхронизации временных меток между ведущим и ведомым устройством, надежность гарантируется общим секретом, основанным на HMAC Based OTP;
- детекция атак: внедрение посредника или подмена мастера, как правило, приводит к нарушению временного профиля, что позволяет своевременно выявить атаку.

Протокол Modbus RTU, несмотря на широкое распространение, уязвим из-за отсутствия механизмов аутентификации. Предложенный подход верификации на основе временных интервалов позволяет повысить уровень доверия между узлами и значительно осложнить реализацию атак типа «подмена» или «человек посередине».

Данный метод является лёгким в реализации, совместимым с существующей инфраструктурой и может рассматриваться как промежуточное решение между классическим RTU и более тяжеловесными методами криптографической защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томас Д. Введение в протокол Modbus. Часть 1 // Современные технологии автоматизации. - 2009. - №2. - С. 52-56.

VERIFICATION OF NODES IN RTU MODE OF MODBUS PROTOCOL BASED ON TIME INTERVALS OF INFORMATION TRANSMISSION

Yuzhakov A.A., Oshchepkov N.V.
(Perm National Research Polytechnic University (PNRPU))

The lack of node verification in the RTU mode of the modbus protocol is a serious problem in the field of information security from man-in-the-middle attacks and spoofing attacks. As a solution, the option of using data transmission time intervals as a node verification method is proposed.

УДК 004.056.55, 003.26

ВСТРАИВАНИЕ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМАТ JPEG

Шакурский М. В., Бильданов С. З.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Графические файлы являются неотъемлемой частью нашей жизни. Есть множество форматов графического изображения, но самый популярным является JPEG. Однако, использование данного формата для маскировки информации представляет ряд сложностей. Рассмотрим конструкцию формата.

Данный графический файл позволяет более экономно хранить информацию за счет используемого алгоритма сжатия. Я считаю актуальным рассмотрение данного алгоритма более подробно, так как схожие подходы используются и в других форматах.

В первую очередь, для упрощения работы с графическими данными используется новая цветовая палитра YCrCb, которая отказывается от применения стандартной палитры красного, зеленого и синего, в виду того, что человеческий глаз менее чувствителен к зеленому, и в то же время, более чувствителен к яркости (Y). Параметры Cr и Cb определяют количество красной и синей составляющей в единице изображения.

Следующим шагом будет сокращение информации о цветности изображения с использованием того факта, что в блоках изображения 4x4 значения каналов цветности отличаются незначительно. Таким образом, при выборе среднее значение среди значений блока потеря окажется незначительной. После этого значения формируются в блоки 8x8, с дополнительным смещением на 128. Это необходимо для корректного применения прямого ДКП, с последующим квантованием по служебным таблицам квантования, и расположением значений в строку, как показано на рис. 1.

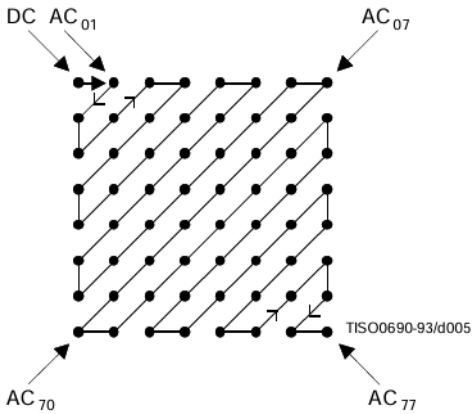


Рис. 1. Порядок записи значений блока 8x8 после квантования[1]

Первый элемент такой строки (DC), показывает значение, характерное для блока в целом. Остальные коэффициенты являются AC коэффициентами и несут

информацию о деталях. DC коэффициенты изображения зачастую не сильно отличаются друг от друга и записываются в виде разностей с предыдущим коэффициентом. В то же время после применения квантования на этапе ДКП, в строке AC-коэффициентов часто встречаются нули, которые удобно записать через длины серий.

Далее значения представляются в виде меток (категория, значение) для DC коэффициентов, и (длина, категория, значение) для AC, где длина – количество нулей перед ненулевым значением, категория – это количество разрядов двоичной записи модуля числа, а значение записывается в двоичном виде (с инверсией разрядов, если значение отрицательное) [2, 3].

Метки в свою очередь кодируются с помощью деревьев Хаффмана, обеспечивая дополнительное сжатие байтовых меток.

Учитывая, что алгоритм JPEG сжимает изображение с потерями информации, это создает ряд сложностей при встраивании информации за счет снижения вместимости контейнера в графической области в 64 раза по сравнению с, например, BMP (за счет применения ДКП к блокам 8x8), также представление самого изображения в виде битового потока (как следствие кодирования кодами Хаффмана), исключает использование готового JPEG, как контейнера. Таким образом, для построения эффективной стегосистемы необходимо внедрять информацию в файл BMP перед сжатием, то есть формирование стегокодера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/IEC 10918-1 : 1993(E) CCIT Recommendation T.81 // ITU, 1993. – 186 p.
2. Дж.Миано, Форматы и алгоритмы сжатия в действии // Москва, издательство Триумф, 2003 – 336 с.
3. Automated measurement of digital video cameras exposure time / V. N. Budilov, V. I. Volovach, M. V. Shakurskiy, S. V. Eliseeva // Proceedings of IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTS 2013, Rostov-on-Don, 27–30 сентября 2013 года. – Rostov-on-Don, 2013. – P. 6673136. – DOI 10.1109/EWDTS.2013.6673136

EMBEDDING HIDDEN INFORMATION INTO JPEG FORMAT

Shakursky M. V., Bildanov S. Z.
(Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volga State University of Telecommunications and Informatics)

This article provides a brief analysis of the basic JPEG image compression method, explaining the challenges of using this format for embedding information. The problem is identified and conclusions are made.

УДК 004.056.55

МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМАТ JPEG

Шакурский М.В., Бильданов С.З.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Учитывая устройство алгоритма сжатия JPEG, возможности встроить в данный формат информации резко сокращаются. Однако, встраивание возможно, и я считаю актуальным рассмотреть те, которые легче всего реализовать.

Для понимания возможности необходимо ознакомиться с структурой файла JPEG [1], представленной на рис. 1.

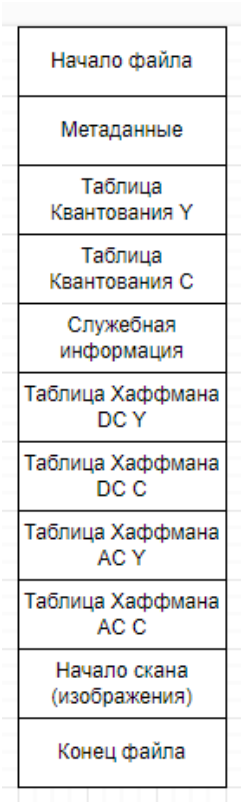


Рис. 1. Текст подрисуночной надписи

Самый простой метод встраивания в графическое изображение JPEG – встраивание в метаданные. Данное поле файла JPEG не ограничено максимальным размером и, по сути, является лучшем контейнером информации по вместимости. Однако данное поле считается алгоритмом вторичной информацией, и самый простой способ защититься от внедрения – его отчистка.

Второй по простоте способ внедрения – в поле таблиц квантования. Данное поле является служебным, но при этом важны не сами значения в данном поле, а их распределение, так как именно оно определяет, какие детали изображения будут отброшены. Таким образом, изменяя последний значащий бит каждого значения таблицы мы можем внедрить 64 бита информации в каждую таблицу,

что вполне достаточно для передачи ключа. Данный контейнер является самым простым для использования, так как позволяет использовать привычные методы скрытия информации, и при этом, такой контейнер нельзя отчистить. Однако, разумеется, следует внедрять информацию до начала сжатия изображения, так как информация в данном поле необходима для успешного декодирования.

Третий метод, на основе которого разработана утилита jsteg, представляет собой встраивание в наименее значимые биты ненулевых квантованных коэффициентов ДКП. Данный метод позволяет передать большее количество информации, чем метод, использующий поле таблиц квантования, однако он может привести к неточностям на этапе обратного ДКП в процессе декодирования файла.

Таким образом, разработка методов встраивания информации в файл формата jpeg представляет собой актуальную задачу [2-4]. При этом использование двухкомпонентного контейнера позволит развить существующие методы и сделать их устойчивее к обнаружению известными способами стегоанализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/IEC 10918-1: 1993(E) CCIT Recommendation T.81 // ITU, 1993. – 186 p.
2. Шакурский, М. В. Оценка маскировки сигнала двухкомпонентной стеганографической системой при оконной обработке информации / М. В. Шакурский, О. А. Караулова // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2023. – № 2(54). – С. 9-16.
3. Шакурский, М.В. Способ сокрытия информации / М.В. Шакурский, В.Н. Козловский, О.А. Караулова // Пат. 2815915 Российская федерация, МПК H04L 9/00 G09C 5/00; заявл. 10.04.2023. Опубл. 25.03.2024 Бюл. №9.
4. Шакурский, М. В. Оценка маскировки в стеганографических системах / М. В. Шакурский, О. А. Караулова, С. З. Бильданов // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи : Материалы XXXII Российской научно-технической конференции, Самара, 25–28 февраля 2025 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2025

METHODS OF EMBEDDING INFORMATION IN JPEG FORMAT

Shakursky M.V., Bildanov S.Z.

(Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volga State University of Telecommunications and Informatics)

This article discusses the main ways to embed information into a JPEG image, taking into account its structure and compression algorithm. The problem is identified and conclusions are made.

УДК 004.056.5

УЯЗВИМОСТЬ ОДНОГО ДНЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ибрагимова Д.В., Почепцова Д.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Уязвимость одного дня (One-Day Vulnerability) — это недостаток в системе защиты, который был эксплуатирован злоумышленниками и полностью устранен в течение одного рабочего дня (до 24 часов) с момента его обнаружения. В отличие от уязвимости нулевого дня (Zero-Day), она не является неизвестной для разработчика или поставщика, но характеризуется крайне сжатым временным промежутком между появлением информации о ней и ее активной эксплуатацией в кибератаках [1].

Ключевая особенность таких уязвимостей — высокая скорость распространения угрозы и необходимость экстренного реагирования. Злоумышленники активно используют временной лаг между публикацией информации об уязвимости и массовым установлением заплаток (патчей) пользователями. Это требует от организаций максимально оперативного внедрения обновлений безопасности, поскольку даже кратковременная задержка с устранением такой уязвимости может привести к компрометации систем [3].

Уязвимости одного дня демонстрируют критическую важность процессов управления обновлениями (Patch Management) и непрерывного мониторинга угроз. Их появление свидетельствует о необходимости:

- Автоматизации процессов проверки и установки исправлений.
- Наличия эффективного мониторинга актуальных угроз и уязвимостей.
- Готовности команд безопасности к экстренному реагированию [2].

Таким образом, уязвимость одного дня представляет собой серьезный вызов для систем защиты, требующий высокой готовности к оперативному устранению рисков. Борьба с такими угрозами возможна только при наличии отлаженных процессов кибергигиены, автоматизированного контроля и проактивной стратегии безопасности, минимизирующей время между обнаружением уязвимости и ее ликвидацией [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, А.В. Современные киберугрозы и управление уязвимостями / А.В. Андреев, Е.С. Петров // Информационная безопасность. – 2022. – № 4. – С. 45-53. – (Теория и практика).

2. NIST Special Publication 800-40 Rev. 4. Guide to Enterprise Patch Management Technologies: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology [Электронный ресурс] / P. Chen, et al. – U.S. Department of Commerce, 2022. – URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-40r4.pdf

3. ENISA Threat Landscape 2023 [Электронный ресурс] / European Union Agency for Cybersecurity. – URL: https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2023.

4. ISO/IEC 27035-2:2023. Information technology — Information security incident management — Part 2: Guidelines to plan and prepare for incident response [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iso.org/standard/82106.html.

УДК 654.01, 004.056.57

ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТИ СОТОВОЙ СЕТИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Харин В.С., Почепцова Д.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С развитием технологий Интернета увеличилось количество устройств участвующих в обмене информации, а с развитием IoT устройств и VR/AR - технологий увеличилась нагрузка на существующие по всему миру сети LTE. Для решения проблемы, связанной с нагрузкой на сотовые сети, в 2015 году началась разработка стандарта 5G NR (New Radio). [1-2] Пятое поколение сотовой связи предоставляет большие скорости передачи данных по радиоэфиру, к примеру, на частоте ниже 6 ГГЦ (Sub-6) была зафиксирована скорость 4–5 5 Гбит/с на одно устройство.

С увеличением роста доступности программно-определяемой радиосистемы SDR (Software Defined Radio) для анализа радиоэфира, злоумышленники направляют свои неправомерные действия на обычных граждан и инфраструктуру оператора сотовой связи, тем самым подрывая доверие к телекоммуникационным компаниям, нарушая национальные интересы страны в целом.

В августе 2025 года было проведено исследование в Сингапурском университете технологий и дизайна с использование фреймворка SNI5GECT — это ПО, которое перехватывает сообщение до проведения процедуры аутентификации в сети 5G. [3-4] Чтобы указать влияние уязвимости, вызванное передачей сообщений в не зашифрованном виде между поддельной базовой станцией gNB и конечным устройством UE, необходимо рассмотреть промежуток времени от момента установления соединения до аутентификации. Действуя в этом промежутке времени, можно перехватывать данные от UE и прослушивать любые RAR (это ответы на запрос подключения) команды от gNB. Это означает что при прослушке трафика от UE хакер, используя особенности строений гаражей, зданий и других объектов может взаимодействовать с телефоном жертвы выставляя свою gNB как легитимную БС (Базовую Станцию). Также подобную атаку возможно производить с начала процедуры RAR и не использовать поддельную gNB, но при этом необходимо знать учётные данные UE для перехвата данных и дальнейшей их расшифровки [5].

Итог заключается в том, что данная уязвимость позволяет встраивать AT команды как на нисходящий канал связи, так и в восходящий канал связи, позволяя управлять запросами на установление соединений, например RRC (запрос на инициализацию соединения с БС) до прохождения процедуры аутентификации, или отказывать в установлении соединения, тем самым понижая версию стандарта сотовой связи, что даёт возможность использовать IMSI ловушки для перехвата критической информации [6].

В качестве заключения можно сделать вывод, что эксплуатация данной уязвимости в реальных условиях затруднена. Для этого требуются специальные средства, недоступные рядовым злоумышленникам: оборудование имеет чрезвычайно высокую стоимость, а его продажа находится под строгим контролем государственных органов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. USENIX - Некоммерческая организация по исследованиям в информационных технологиях.
[Электронный ресурс.] -URL: https://www.usenix.org/conference .
2. Shijie Luo, Matheus Garbelini, Sudipta Chattopadhyay, and Jianying Zhou, Singapore University of Technology and Design
[Электронный ресурс.] -URL: usenix.org/system/files/usenixsecurity25-luo-shijie.pdf .
3. Стать с сайта SecurytyLab.ru by Positive Technologies
[Электронный ресурс.] -URL: https://www.securitylab.ru/news/562499.php
4. Evangelos Bitsikas, Syed Khandker, Ahmad Salous, Aanjhan Ranganathan, Roger Piqueras Jover, and Christina Pöpper. Ue security reloaded: Developing a 5g standalone user-side security testing framework. In Proceedings of the 16th ACM Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks, page 121–132, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery
5. Effnet AB. Effnet 5G solutions.
[Электронный ресурс.]-URL: https://effnet.com/products/protocolstack-nw/, 2025. Accessed: 2025-01-08.
6. Почепцов А.О Выявление аномалий сетвеого трафика NTA / А.О Почепцов, Д.А Почепцова //XXXII Российская научнотехническая конференция “Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи ”, материалы конференции -2025. -С 126-127.

STUDY OF FREQUENCY INSTABILITY IN SELF-OSCILLATORY SYSTEMS OPERATING IN THE HIGH-SENSITIVITY MODE

Kharin V.S , Pocheptsova D.A
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article is devoted to the analysis of the resistance of 5G network base stations to cyberattacks. The conducted vulnerability study revealed a critical vulnerability. However, the possibility of its practical implementation is questioned from the point of view of profitability, since the reproduction of such an attack requires significant time and financial costs.

УДК 004.056.5

РАЗРАБОТКА ПЕРЕСТАНОВОЧНОГО ДЕКОДЕРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ БПЛА ОТ ПРЕДНАМЕРЕННОГО УГОНА

Толикина М.Ю.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Дроны, как разновидность БПЛА, находят широкое применение в оборонной, коммерческой и промышленной отраслях [1]. С ростом их использования возрастают риски, связанные с несанкционированным доступом к управлению и интерференцией в каналах связи. Эффективным методом защиты является криптографическая защита сигналов управления, обеспечивающая их шифрование и аутентификацию [2].

Радиочастоты 2,4 ГГц или 5,8 ГГц, используемые для управления дронами, оставляют открытыми возможности для атак с целью перехвата управления. Такие угрозы включают перехват сигнала, атаки типа «replay», подмену команд и активное подавление сигнала. Особо опасен целенаправленный угон беспилотника злоумышленниками для незаконного использования, кражи данных или проведения деструктивных операций.

Процесс работы основан на следующем механизме: начиная с передатчика, управляющие сигналы преобразуются с использованием перестановочной матрицы. Затем, этот закодированный набор данных отправляется через радиосвязь. На принимающей стороне, в бортовой системе дрона, установлен специальный перестановочный декодер, который реконфигурирует данные в их первоначальный вид, применяя обратную перестановку на основе секретного ключа. Этот подход осуществим даже на микроконтроллерах с ограниченными вычислительными возможностями, что идеально подходит для компактных беспилотных аэротранспортных средств.

На рис. 1 демонстрируется механизм передачи шифрованных управленческих инструкций, осуществляемый с помощью шифра перестановки.

Рис. 1. Схематическое представление защитной системы с применением перестановочного декодирования

Декодирующее устройство внедряется в виде компонента на борту беспилотного летательного аппарата, где оно интегрировано с системой управления полетами. Этот модуль обладает следующими функциональными возможностями: прием зашифрованных сигнальных пакетов, верификация их

целостности с использованием контрольной суммы (CRC), реконструкция первоначальной последовательности данных с помощью ключа перестановок и последующая передача декодированных команд на микроконтроллер полетных операций [3].

Основные преимущества заключаются в простоте масштабирования системы, эффективности внедрения на экономичных контроллерах и в относительно невысокой вычислительной сложности. Однако существуют ограничения, включающие проблемы быстроты исполнения на бюджетных устройствах и проблемы с маскированием последовательности операций, что делает перестановочные шифры подходящими для использования только как часть комплексной системы обеспечения безопасности.

Эта методика надёжно обеспечивает безопасность канала управления, предотвращая несанкционированный захват и блокировку сигналов управления, делая систему устойчивой к умышленным попыткам угона дрона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин И. А. Применение метода перестановочного декодирования в системе управления БПЛА малого класса (дроны, мультикоптеры) / И. А. Сорокин, П. Н. Романов, М. Ю. Шибаева // T-Comm. 2019. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-perestanovochnogo-dekodirovaniya-v-sisteme-upravleniya-bpla-malogo-klassa-drony-multikoptery (дата обращения: 12.09.2025).

2. Долгий Е. Ю. Разработка схемы защищенного канала дальнего радиуса действия для наземной станции управления беспилотного летательного аппарата / Е. Ю. Долгий, К. В. Шошина, Р. А. Алешко // Молодой ученый. – 2015. – № 13-1(93). – С. 10-12. – EDN TZKUEB.

3. Авдонин И. А. Организация защиты данных, передаваемых между беспилотным летательным аппаратом и наземной станцией управления, на основе шифра Вернама / И. А. Авдонин, М. Б. Будько, В. А. Грозов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16, № 5. – С. 850-855. – DOI 10.17586/2226-1494-2016-16-5-850-855. – EDN WRPHSZ.

DEVELOPMENT OF A PERMUTATION DECODER TO PROTECT UAVS FROM INTENTIONAL THEFT

Tolikina M.Y.

(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

This paper discusses the development of a permutation decoder designed to improve the information security of communication channels between the operator and the UAV. A permutation cipher is one of the classic cryptographic methods based on changing the order of data elements. If properly implemented, it can be effective against simple man-in-the-middle (MITM) attacks, especially when combined with other security mechanisms.

УДК 004.056.5

ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Карлышева К.О., Буранова М.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы управления информационной безопасностью и событиями (SIEM) играют важную роль в обеспечении ЗИ, помогая организациям отслеживать, выявлять возможные аномалии и быстро реагировать на них в режиме реального времени. Они собирают и объединяют данные о событиях из различных компонентов ИТ-инфраструктуры, предоставляя всестороннее понимание текущего состояния безопасности.

Функционирование и значение SIEM-систем в защите от киберугроз связаны с важными компонентами, которые помогают системе поддерживать работоспособность [1].

- Процесс сбора и обработки журналов. Здесь собираются значительные объемы данных с разных устройств, включая сетевое оборудование, серверы и приложения. Эти записи сохраняются и подвергаются анализу для выявления потенциальных угроз. В рамках своей работы системы SIEM осуществляют корреляцию логов, которые объединяют информацию из различных источников, что помогает обнаружить возможные признаки безопасности инцидентов.
- Механизм корреляции событий. Данная функция отвечает за анализ взаимосвязей между различными инцидентами. Обрабатывая сведения из множества источников, система может обнаруживать закономерности и связи между, на первый взгляд, несвязанными событиями [2]. Данный подход особенно важен для выявления сложных угроз, поскольку отдельные действия могут казаться безобидными, но в совокупности создавать глобальную опасность.
- Информационные интерфейсы и отчетность. Этот блок настроен для отображения данных о событиях безопасности в режиме реального времени, что упрощает мониторинг инцидентов. Автоматизированные отчеты предоставляют информацию о состоянии системы и потенциальных уязвимостях, позволяя оперативно реагировать на угрозы.
- Механизмы реагирования на события инцидентов. Системы SIEM используются не только для обнаружения угроз, но и для их нейтрализации. При выполнении определенных условий могут запускаться автоматические уведомления и предопределенные действия, прописанные заранее, которые позволят оперативно среагировать на потенциальные аномалии [3].
- Координация соответствия стандартам. Соблюдение нормативных требований и отраслевых стандартов является ключевым приоритетом для любой организации. Использование SIEM-систем гарантирует наличие

средств контроля безопасности и их эффективное отслеживание, что значительно упрощает и ускоряет процесс аудита.

Применение современных SIEM-систем позволяет организации добиться более высокой степени автоматизации и точности в выявлении и расследовании инцидентов безопасности. Это помогает сократить время реагирования, снизить вероятность пропуска угроз и повысить общий уровень защиты информационной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SIEM (Security information and event management) / Encyclopedia by Kaspersky [Электронный ресурс] — URL: https://encyclopedia.kaspersky.ru/glossary/siem/ (дата обращения 18.08.2024);
2. SIEM — управление событиями и инцидентами информационной безопасности/ Cloud Networks [Электронный ресурс] — URL: https://cloudnetworks.ru/inf-bezopasnost/siem-logmanagement/ (дата обращения 19.08.2024);
3. MaxPatrol Security Information and Event Management (MaxPatrol SIEM) [Электронный ресурс] // Positive Technologies [Офиц. сайт]. Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/products/mpsiem/MPSIEM_PB_A4_15-2021.pdf (дата обращения 30.04.2022).

EFFECTIVE PROTECTION OF AN ORGANIZATION THROUGH ADVANCED SIEM TECHNOLOGY AND AUTOMATED ANALYTICAL TOOLS

Karlysheva K.O., Buranova M.A.
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

In today's world, effective organization protection is achieved through the use of advanced SIEM technologies and automated analytical tools. These systems enable timely detection and response to cyber threats, ensuring a high level of information security, improving monitoring efficiency, and minimizing the risks of potential attacks. This article explores the features, benefits, and challenges associated with implementing such technologies in corporate security. It concludes that integrating advanced SIEM systems and analytical tools significantly enhances an organization's security and contributes to building a robust cybersecurity framework.

УДК 004.42

БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Глушак Е.В., Михайлова П.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С развитием Интернета вещей (IoT) вопрос безопасности передачи данных становится необходимым для обеспечения надежности и защиты информации. Облачные и туманные вычисления предлагают гибкие и масштабируемые решения для обработки больших объемов данных. При этом эти решения новые проблемы в области обеспечения безопасности, особенно при передаче данных между устройствами и различными уровнями инфраструктуры [1].

Существует несколько подходов к решению данных проблем. Наиболее популярным решением является использование шифрования данных [2]. Такая возможность используется для защиты данных как в облаке, так и в туманной вычислительной инфраструктуре, может вызывать задержки при обработке больших объемов информации. Такое решение представляет собой проблему для систем, требующих минимальных задержек, например, в реальном времени. Механизмы аутентификации и авторизации активно применяются для защиты от несанкционированного доступа [3]. Для IoT-систем с огромным числом подключенных устройств задача централизованной аутентификации становится довольно сложной. Контроль доступа и управление правами пользователей важны для обеспечения безопасности, особенно в распределенных системах [4], но с ростом числа устройств управление правами может стать слишком сложным, а ошибки в настройке прав доступа могут привести к утечке данных.

На основе проведенного анализа можно предложить ряд решений. Разработать адаптивные механизмы шифрования, которые будут регулировать уровень шифрования в зависимости от текущей сетевой нагрузки и требований к задержкам. Для решения проблемы управления правами доступа в динамичных IoT-сетях можно внедрить систему динамического управления правами, основанную на машинном обучении. Для защиты от атак можно интегрировать дополнительные уровни безопасности, используя гибридный подход с применением, как традиционных методов шифрования, так и новейших методов защиты, которые могут динамически адаптировать маршруты передачи данных в случае угроз. Для решения проблемы задержек в облачно-туманных вычислениях можно предложить архитектуру, где туманные узлы будут обрабатывать данные локально, а облачные серверы будут использоваться для более глубокой аналитики и хранения. Данный способ поможет минимизировать задержки при передаче данных.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на углубленную разработку адаптивных алгоритмов безопасности, которые будут автоматически подстраиваться под меняющиеся условия сети и нагрузки. Перспективным становится исследование возможности интеграции этих

алгоритмов в реальные IoT-системы с ограниченными ресурсами. Дополнительно необходимо продолжить работу по улучшению механизмов защиты данных в туманных вычислениях с учетом особенностей динамичных и распределенных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников, Ю.С. Проблемы обеспечения безопасности систем интернета вещей / Ю.С. Мельников // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. – 2023. – № 18. – С. 71-73.

2. Акапьев, В.Л. Развитие Интернета вещей и проблемы обеспечения его безопасности / В.Л. Акапьев, С.Е. Савотченко, Н.А. Жукова // Вопросы российского и международного права. – 2024. – Т. 14, № 2-1. – С. 257-267.

3. Клюев, О.И. Архитектура граничных вычислений и информационная безопасность / О.И. Клюев, С.В. Шевелев, А.Б. Семенов // Вестник связи. – 2023. – № 4. – С. 29-32.

4. Анализ проблем безопасности больших данных в IOT и методов их преодоления / М. Я. Пашаев, С.И. Абдулаева, М.М. Намаева, Х.С. Халиева // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2022. – Т. 18, № 4(30). – С. 24-30.

DATA TRANSMISSION SECURITY IN CLOUD AND FOG SYSTEMS FOR THE INTERNET OF THINGS

Glushak E.V., Mikhailova P.D.
(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

The report examines the security of data transmission in cloud and peripheral computing systems for the Internet of Things (IoT). It provides an overview of existing solutions such as encryption, authentication, and access control, and highlights their limitations in dynamic Internet of Things environments with limited resources. The report suggests new approaches, adaptive encryption, dynamic access control using machine learning, and enhanced network-level security to address these challenges. The proposed solutions are aimed at improving data security, reducing delays, and improving the reliability of IT systems while efficiently managing limited computing resources.

УДК 004.42

БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Михайлова П.Д.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Безопасность передачи данных в облачных и туманных вычислениях является критически важным аспектом для обеспечения надежности и защиты информации, особенно в приложениях, требующих высокой степени конфиденциальности и доступности, таких как медицинские, финансовые и государственные системы [1].

В условиях распределенных вычислений данные часто передаются через несколько узлов, что увеличивает риск их перехвата или модификации. Облачные и туманные вычисления предлагают гибкость и масштабируемость, но также создают новые вызовы в области защиты данных [2]. В докладе рассматриваются методы обеспечения безопасности при передаче данных в облачных и туманных вычислениях, а также предложены подходы для защиты критически важных приложений от угроз, связанных с утечками данных и атакой на инфраструктуру.

Проблемы безопасности передачи данных в облачных и туманных вычислениях для критически важных приложений включают угрозы утечек данных, перехвата информации, атак типа Man-in-the-Middle, а также угрозы на уровне физической инфраструктуры. Одной из главных проблем является обеспечение конфиденциальности данных, особенно при их передаче через публичные и частные сети. Важно гарантировать, что только авторизованные пользователи и устройства могут получить доступ к данным [3]. Для решения этих проблем можно использовать методы шифрования, такие как симметричное и асимметричное шифрование (AES, RSA), а также протоколы аутентификации и авторизации, включая двухфакторную аутентификацию и системы на основе блокчейн-технологий для децентрализованного контроля.

Одной из ключевых проблем является обеспечение целостности данных при их передаче. Данную проблему можно решить с использованием алгоритмов хеширования, таких как SHA-256, и цифровых подписей для проверки подлинности данных. Необходимо обеспечить защиту от DDoS-атак, которые могут нарушить доступность сервисов в облаке и тумане. Для этого можно использовать алгоритмы распределения нагрузки и фильтрации трафика, а также мониторинг и автоматическое реагирование на аномалии в сетевом трафике [4].

Планируется создать модели, основанные на теории графов, чтобы оптимизировать маршруты передачи данных с учетом риска утечек и сбоев [5]. Модели Маркова могут быть использованы для моделирования вероятности различных угроз в процессе передачи данных и их воздействие на систему. Алгоритмы оптимизации на основе линейного программирования, могут быть применены для минимизации потерь безопасности при передаче данных и

улучшения отказоустойчивости системы. Разработка таких математических моделей и алгоритмов поможет повысить уровень безопасности и надежности при передаче данных в облачных и туманных вычислениях для критически важных приложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Исследование задержек при передаче данных в медицинских сетях с помощью программы iFogSim / Е.В. Глушак, П.Д. Михайлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2024. – Т. 22, № 2(86). – С. 35 - 45.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

3. Глушак Е.В., Сенгилевцев О.А. Разработка и исследование макета сети BAN для мониторинга состояния здоровья человека / Инфокоммуникационные технологии, 2023. - Т. 21, №1. Самара. - С. 28 – 36.

4. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157 - 168.

5. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е.В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

DATA TRANSFER SECURITY IN CLOUD AND FOG COMPUTING FOR CRITICAL APPLICATIONS

Mikhailova P.D.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This paper discusses the security challenges of data transmission in cloud and fog computing for critical applications, focusing on risks such as data leaks, interception, and man-in-the-middle attacks. It explores solutions such as encryption, authentication, blockchain-based authorization systems, and load balancing to ensure data integrity and confidentiality. The paper also examines the application of mathematical models, including graph theory, Markov models, and optimization algorithms, to improve data security and minimize risks. The proposed approaches aim to enhance the reliability and security of data transmission in cloud and fog computing environments for sensitive applications.

УДК 004.056

ЦИФРОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ: КРИЗИС ДОВЕРИЯ В ЭПОХУ КИБЕРАТАК

Расеева Е.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современном мире, где информация является ключевым активом, цифровая безопасность при ее передаче становится вопросом первостепенной важности. Однако, постоянные кибератаки и утечки данных подрывают доверие к цифровым каналам связи, создавая кризис доверия, который ставит под угрозу не только отдельные организации, но и всю цифровую экономику. Утечки личных данных, финансовые мошенничества и кибершпионаж стали обыденностью. Организации сталкиваются с все более сложными и изощренными угрозами, а пользователи теряют уверенность в безопасности своих данных. Этот кризис доверия имеет далеко идущие последствия, включая снижение онлайн-активности, ограничение использования цифровых услуг и подрыв инноваций.

Для восстановления доверия необходим комплексный подход, включающий усиление мер безопасности, прозрачность в обработке данных и повышение осведомленности пользователей. Компании должны инвестировать в передовые технологии защиты, такие как шифрование, многофакторная аутентификация и системы обнаружения вторжений. Важно также внедрять строгие политики конфиденциальности и предоставлять пользователям полный контроль над своими данными.

Ключевым элементом является также международное сотрудничество в борьбе с киберпреступностью. Необходима разработка общих стандартов безопасности и механизмов обмена информацией об угрозах. Только совместными усилиями можно создать безопасную и надежную цифровую среду, способствующую развитию инноваций и укреплению доверия в эпоху кибератак. Помимо технологических мер, важную роль играет образовательная составляющая. Пользователи должны быть осведомлены о рисках, связанных с цифровой средой, и обучены основам кибергигиены. Это включает в себя использование надежных паролей, осторожность при переходе по подозрительным ссылкам и установку обновлений безопасности. Повышение уровня цифровой грамотности позволит пользователям более осознанно принимать решения и защищать себя от угроз [1].

Органам государственной власти также следует играть активную роль в обеспечении цифровой безопасности. Это включает в себя разработку и внедрение нормативно-правовых актов, регулирующих обработку данных, а также создание механизмов контроля за соблюдением этих норм. Важно также поддерживать исследования и разработки в области кибербезопасности и стимулировать инновации в этой сфере. Независимые организации, проводящие

аудит безопасности и оценку рисков, также могут внести свой вклад в повышение уровня цифровой безопасности.

Восстановление доверия в цифровую эпоху требует постоянных усилий и адаптации к меняющимся угрозам. Компании должны демонстрировать свою приверженность безопасности данных и прозрачность в своих действиях. Пользователи должны быть уверены в том, что их личная информация надежно защищена и используется только с их согласия. Преодоление кризиса доверия в цифровую эпоху – это вызов, требующий совместных усилий государства, бизнеса и общества. Только объединив усилия, мы сможем создать безопасную и надежную цифровую среду, которая будет способствовать развитию инноваций и укреплению доверия в эпоху кибератак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безделов, А. Д. Инновационные формы управления и кибербезопасность безналичных расчетов в условиях цифровизации банковской экосистемы / А. Д. Безделов, Е. В. Логинова // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. — 2020. — Т. 9, № 3. — С. 25–31.

DIGITAL SECURITY IN THE TRANSMISSION OF INFORMATION: A CRISIS OF TRUST IN THE ERA OF CYBER ATTACKS

Raseeva E.V.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

In the era of cyber attacks, trust in digital security in the transmission of information is facing a crisis due to the growth of threats, the complexity of data protection and the need for an integrated approach to security. This crisis is related to the evolution of cyber threats, the need to introduce new methods of protection, regulation of information security and training of specialists.

УДК 004.056: 004.7

ОБНАРУЖЕНИЕ DDOS-АТАК С ПОМОЩЬЮ LSTM-АВТОЭНКОДЕРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Какабьян К.С.

(«Поволжский университет телекоммуникаций и информатики)

Современный ландшафт DDoS-атак характеризуется разнообразием векторов, требующим разработки адаптивных методов обнаружения. Хотя для этой задачи активно применяются различные методы машинного обучения, от классических алгоритмов до гибридных нейро-нечётких систем [1], их эффективность часто зависит от качества обучающих данных и способности к обобщению. Сравнительные исследования показывают, что не существует универсального решения, и выбор оптимального метода сводится к компромиссу между точностью, скоростью и вычислительной сложностью [2]. Традиционные сигнатурные подходы часто оказываются малоэффективными против новых угроз, что обуславливает необходимость создания систем, способных выявлять аномальную активность на основе анализа статистических свойств трафика без предварительных знаний о сигнатурах атак [3]. Данная работа посвящена апробации одного из таких подходов, основанного на моделировании профиля нормальной сетевой активности. Предполагается, что при попытке реконструкции аномального (атакующего) трафика модель, обученная только на легитимных данных, будет генерировать заметно большую ошибку, чем при обработке нормального трафика.

Эмпирической базой для исследования послужил набор данных NSL-KDD. Для формирования целевой выборки были отобраны все легитимные записи, а также записи, относящиеся к классу DDoS-атак. Остальные категории атак были исключены для чистоты эксперимента. После предобработки данных построена модель автоэнкодера с рекуррентными слоями LSTM [4]. Модель обучалась исключительно на выборке легитимных соединений с целью минимизации средней абсолютной ошибки восстановления. Обнаружение атак осуществлялось путём измерения отклонений от эталонной модели нормальной сетевой активности, а также вычисления ошибки восстановления для каждого соединения и его классификации на основе статистического порога. Главное преимущество такого подхода в том, что он позволяет детектировать DDoS-атаки без предварительных знаний об их сигнатурах.

Эксперимент показал, что модель достигла показателя точности в 98% при обнаружении атак. Полнота для класса атак составила 81%, а итоговая F1-мера достигла 89%. Анализ распределения ошибки восстановления показал чёткое разделение между легитимным трафиком и трафиком DDoS-атак. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность метода. Дальнейшие исследования будут направлены на апробацию данного подхода на более современных и сложных наборах данных, а также на сравнение производительности с другими архитектурами глубокого обучения для задач обнаружения аномалий. Также перспективным направлением является

разработка адаптивных механизмов определения порога ошибки для повышения устойчивости системы в динамически изменяющейся сетевой среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васин, Н. Н., Какабьян К. С. Применение адаптивной нейро-нечеткой системы вывода для обнаружения DDoS-атак на основе набора данных CIC-DDoS-2019 / Н. Н. Васин, К. С. Какабьян // Труды учебных заведений связи – 2025. – Т. 11, № 3. – С. 87–96.

2. Васин, Н. Н., Какабьян К. С. Сравнительный анализ методов машинного обучения для решения задачи бинарной классификации сетевого трафика / Н. Н. Васин, К. С. Какабьян // Инфокоммуникационные технологии. – 2024 – Т. 22, № 2. – С. 20–26.

3. Ефимов, А. Ю. Использование энтропийных характеристик сетевого трафика для определения его аномальности / А. Ю. Ефимов // Программные продукты и системы – 2021. – Т. 34, № 1. – С. 83–90.

4. Визильтер, Ю. В. Структурно-функциональный анализ и синтез глубоких конволюционных нейронных сетей / Ю. В. Визильтер, В. С. Горбацевич, С. Ю. Желтов // Компьютерная оптика – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 886–900.

DETECTION OF DDOS ATTACKS USING LSTM AUTOENCODER BASED ON ANALYSIS OF NETWORK TRAFFIC ANOMALIES

Kakabian K.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The modern landscape of DDoS attacks is characterised by a variety of vectors, requiring the development of adaptive detection methods. While various machine learning techniques are applied for this task, comparative research shows that selecting an optimal method involves a trade-off between accuracy, speed, and computational complexity. Traditional signature-based approaches frequently fail against emerging threats, underscoring the necessity for systems that can identify anomalous activity based on statistical traffic properties, like entropy, without prior knowledge of attack signatures. This paper evaluates such an approach by modelling normal network activity, hypothesizing that a model trained only on legitimate traffic will generate a substantially larger error when reconstructing anomalous (attack) traffic than when processing normal traffic.

УДК 004.942, 007.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К СОВРЕМЕННЫМ IoT-КАМЕРАМ

Краснов Д.П., Почепцова Д.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Распространение IoT-камер в системах «умного дома», видеонаблюдения и промышленного IoT актуализирует задачи обеспечения их кибербезопасности [1, 2]. В отличие от традиционных компьютерных систем, уязвимости IoT-устройств часто носят аппаратно-программный характер и эксплуатируются с использованием специфических векторов атаки [3, 4]. Данная работа посвящена экспериментальному анализу технических уязвимостей современных IP-камер и методов реализации несанкционированного доступа.

Экспериментальный стенд включал 5 моделей IP-камер различных производителей (D-Link, TP-Link, Xiaomi) с публично доступным веб-интерфейсом и облачными сервисами. Анализ проводился с использованием методов пассивного сканирования (nmap, Shodan) и активного тестирования на проникновение с применением специализированного фреймворка для IoT-устройств – FirmAE [5]. Основное внимание уделялось следующим техническим аспектам:

Анализ сетевых служб: На всех тестируемых устройствах обнаружены открытые порты (80, 443, 554 RTSP, 8080), при этом в 60% случаев на порту 80 функционировал устаревший веб-сервер (BusyBox httpd) с известными уязвимостями переполнения буфера [6].

Обход аутентификации: В 40% устройств успешно применена атака на веб-интерфейс, использующая уязвимость типа «Cross-Site Request Forgery» (CSRF) для изменения учётных данных администратора без предварительной авторизации [7].

Перехват и анализ трафика: С помощью инструмента Wireshark проведён анализ незашифрованного RTSP- и HTTP-трафика. В 80% случаев видеопоток передавался по протоколу RTSP без применения шифрования, что позволило осуществить его перехват и воспроизведение.

Эксплуатация уязвимостей облачных сервисов: Для одной из моделей, использующей облачный сервис P2P для удалённого доступа, идентифицирована уязвимость, связанная со слабой реализацией алгоритма парного рукопожатия (handshake), позволившая провести атаку «Man-in-the-Middle» [8].

Результаты эксперимента подтвердили наличие критических уязвимостей, приводящих к полному компрометированию устройства. Установлено, что доминирующими техническими причинами являются: использование устаревших версий ОС на базе Linux (например, ядро 2.6.x), отсутствие

механизма принудительного обновления прошивки и применение незащищённых по умолчанию сетевых протоколов [9, 10].

В качестве заключения стоит указать, что безопасность IoT-камер требует комплексного подхода, включающего как мандатное обновление прошивок от производителей, так и применение дополнительных мер защиты на сетевом уровне (сегментация сети, использование VPN). Дальнейшие исследования планируется направить на разработку аппаратного модуля доверенной загрузки (Hardware Root of Trust) для данного класса устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчунов Е.П., Смирнов А.В. Основы кибербезопасности Интернета вещей. М.: Издательский дом «Вильямс». 2022. 256 с.

2. Roman R., Zhou J., Lopez J. On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things // Computer Networks. – 2013. – Vol. 57, № 10. – P. 2266–2279.

3. Neshenko N., Bou-Harb E., Crichigno J., Kaddoum G., Ghani N. Demystifying IoT Security: An Exhaustive Survey on IoT Vulnerabilities and a First Empirical Look on Internet-Scale IoT Exploitations // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2019. – Vol. 21, № 3. – P. 2702–2733.

4. Андреев А.С., Петров Д.И. Методы и средства защиты информации в беспроводных сенсорных сетях // Информатика и системы управления. – 2021. – № 2(68). – С. 78–85.

5. Chen J., Diao W., Zhao Q., Zuo C., Lin Z., Wang X., Lau W.C., Sun M., Yang R., Zhang K. IoTFuzzer: Discovering Memory Corruptions in IoT Through App-based Fuzzing // Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium (NDSS). – 2018.

6. Frustaci M., Pace P., Aloi G., Fortino G. Evaluating Critical Security Issues of the IoT World: Present and Future Challenges // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – Vol. 5, № 4. – P. 2483–2495.

7. Zhang N., Mi X., Feng X., Wang X., Tian Y., Qian F. Dangerous Skills: Understanding and Mitigating Security Risks of Voice-Enabled Third-Party Functions on Virtual Personal Assistant Systems // Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). – 2019. – P. 1381–1396.

8. Antonakakis M., April T., Bailey M., Bernhard M., Bursztein E., Cochran J., Durumeric Z., Halderman J. A., Invernizzi L., Kallitsis M., Kumar D., Lever C., Ma Z., Mason J., Menscher D., Seaman C., Sullivan N., Thomas K., Zhou Y. Understanding the Mirai Botnet // Proceedings of the 26th USENIX Security Symposium. – 2017. – P. 1093–1110.

9. Sivaraman V., Gharakheili H. H., Fernandes C., Clark N., Karliychuk T. Smart IoT Cameras for Crowd Analytics in Public Spaces // IEEE Pervasive Computing. – 2020. – Vol. 19, № 3. – P. 52–61.

10. Белов Е.В., Тихонов А.А. Разработка модели управления безопасностью для экосистемы Интернета вещей // Труды СПИИРАН. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 890–913.

УДК 004.056

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ожгибесова А.С., Шабуров А.С., Южаков А.А.
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

Современные информационные системы (ИС) эксплуатируются в условиях постоянного роста количества, сложности и интенсивности кибератак. С учетом роста цифровизации и в связи с увеличением зависимости информационных процессов от уровня развития технологий обработки информации, оценка рисков информационной безопасности (РИБ) становится не просто элементом управления безопасностью, а необходимым инструментом обеспечения непрерывности бизнес-процессов и защищенности ИС во всех сферах. Особенно важно осуществлять эффективную деятельность по оценке РИБ на объектах критической информационной инфраструктуры различных уровней государственного управления, предприятий промышленности, энергетики, телекоммуникаций и связи, транспорта, а также в системах, обеспечивающих безопасные условия функционирования городской инфраструктуры.

Используемые в настоящее время подходы и методы к оценке РИБ, в целом, обеспечивают решение данной задачи на большинстве объектов информатизации, но, при этом, большинство методов обладают рядом существенных недостатков, таких как:

- высокая ресурсоемкость;
- слабая адаптация к новым технологиям;
- ограниченная применимость в различных отраслях;
- акцент на защите, а не на устойчивости функционирования системы в условиях инцидентов информационной безопасности.

Это свидетельствует о необходимости совершенствования подходов, а также разработке новых методов, в том числе и автоматизированных, более «гибких», с точки зрения реализации, и ориентированных на актуальные и перспективные вызовы угроз безопасности информации.

Предлагаемый подход к оценке РИБ основывается на следующих основных компонентах:

- использовании нечетких когнитивных карт (НКК);
- интеграции параметра живучести ИС в расчет РИБ;
- применении нечеткой логики для учета неопределенности.

Подход, основанный на интеграции оценки живучести ИС и методов управления РИБ, позволяет реализовать различные интеллектуальные модели оценки рисков. В том числе и модели, на основе построения НКК, предполагающих получение автоматизированных результатов. Работоспособность эффективного применения НКК подтверждена имеющейся практикой [1].

Предлагаемый алгоритм реализации метода оценки заключается в реализации следующих этапов:

1) определение ключевых активов системы, а также возможных угроз и уязвимостей актуальных для данных активов (в текущий момент времени);

2) анализ живучести системы, т.е. оценка ее состояний, позволяющих сохранять функциональность и работоспособность в случае отказа работы отдельных ее частей или нарушения рабочих технологических процессов;

3) построение НКК на основе собранных входных данных (в рабочем функционировании системы) в процессе которого устанавливаются связи между факторами риска [2];

4) оценка воздействия концептов НКК друг на друга при использовании нейронной сети, обученной самостоятельно определять веса связей [3];

5) расчет уровня риска, основанный на правилах нечеткой логики, учитывающий взаимосвязи факторов риска и их степень воздействия;

6) принятие решений по разработке приоритетных мер для управления рисками, способствующих сохранение живучести ИС.

Таким образом, разработанный подход не только дополняет существующие методики, но и позволяет анализировать и прогнозировать функциональную устойчивость ИС в условиях частичных отказов компонентов ИС, даже в условиях сохранения рисков ИБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ожгибесова А.С., Шабуров А.С.Метод автоматизации оценки угроз безопасности информации на основе нечетких когнитивных моделей // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2022. – Т.1. – С. 290-296.

2. Ожгибесова А. С. Об оценке рисков информационной безопасности на основе применения нечетких когнитивных карт в интеллектуальных транспортных системах управления дорожным движением /Ожгибесова А.С., Шабуров А. С., Южаков А. А. // Вестник УрФО. – 2024. – № 2(52). –С. 56–67.

3. Палютина Г.Н. О применении нейронных сетей для оценки весов связей между концептами нечеткой когнитивной карты в адаптивной оценке рисков информационной безопасности // Вестник УрФО. – 2023. – № 4(50). –С. 60–69. (дата обращения: 04.11.2024).

INFORMATION SECURITY RISK ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF INFORMATION SYSTEM SURVIVABILITY

Ozhgibesova A.S., Shaburov A.S., Yuzhakov A.A.
(Perm National Research Polytechnic University)

A method is proposed for improving traditional approaches to information security risk assessment, focusing on maintaining the survivability of the information system. The conditions for ensuring survivability, based on an acceptable level of risk, are analyzed. A step-by-step implementation sequence of the proposed method is presented.

УДК 621.396

РЕЖЕКТИРОВАНИЕ МАСКИРУЮЩИХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ TSUC СИСТЕМЫ

Афанасьев В.В., Шарифуллин Т.Б.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н. Туполева-КАИ)

Режектирование сигналов применяется для избирательного подавления хаотических маскирующих сигналов при выделении информации в системах передачи информации с эффектами хаотической динамики и шумовым маскированием [1]. Формирование маскирующих сигналов часто выполняется на базе многолепестковых TSUC систем с хаотической динамикой [2].

Цель работы – оценка эффективности селективного подавления функционально-режекторными фильтрами хаотических сигналов управляемой дискретно-нелинейной многолепестковой TSUC системы.

Следуя принципу двухканальности селективного режектирования, избирательное подавление хаотических сигналов дискретно-нелинейной системы TSUC с управляющими параметрами a, d, b, f, c, e, предлагается проводить по алгоритму:

$$\begin{cases} U_{outX}(t) = \dot{U}_{inX}(t) - aU_{inY}(t) + U_{inX}(t) - U_{inX}(t)U_{inZ}(t)d, \\ U_{outY}(t) = \dot{U}_{inY}(t) - bU_{inX}(t) + U_{inX}(t)U_{inZ}(t) - fU_{inY}(t), \\ U_{outZ}(t) = \dot{U}_{inZ}(t) - cU_{inZ}(t) - U_{inX}(t)U_{inY}(t) + eU_{inX}(t)^2, \end{cases}$$

где $U_{inX}(t), U_{inY}(t), U_{inZ}(t)$ и $U_{outX}(t), U_{outY}(t), U_{outZ}(t)$ - компоненты входных и выходных сигналов предлагаемого режекторного фильтра.

Параметром временной дискретизации сигналов управляемой системы TSUC выбрано нормированное число отсчетов N за период полезного ФМн сигнала системы передачи информации с шумовым маскированием [3]. Исследовано влияние вариации a, d, b, f, c, e и изменения N, на коэффициенты подавления (Kp) в X, Y, Z каналах предлагаемого режекторного фильтра. Полученные для управляемой дискретно-нелинейной системы TSUC зависимости коэффициентов подавления $Kp(X), Kp(Y), Kp(Z)$ от N представлены на рис.1 для типовых значений параметров $a = 40,\ d = 0.16, e = 0.65$. Установлено, что при $b = 30$, с увеличением N наблюдается повышение коэффициента селективного подавления маскирующих сигналов канала X и снижение Kp в канале Y, тогда как в Z-канале коэффициент селективного подавления изменяется незначительно.

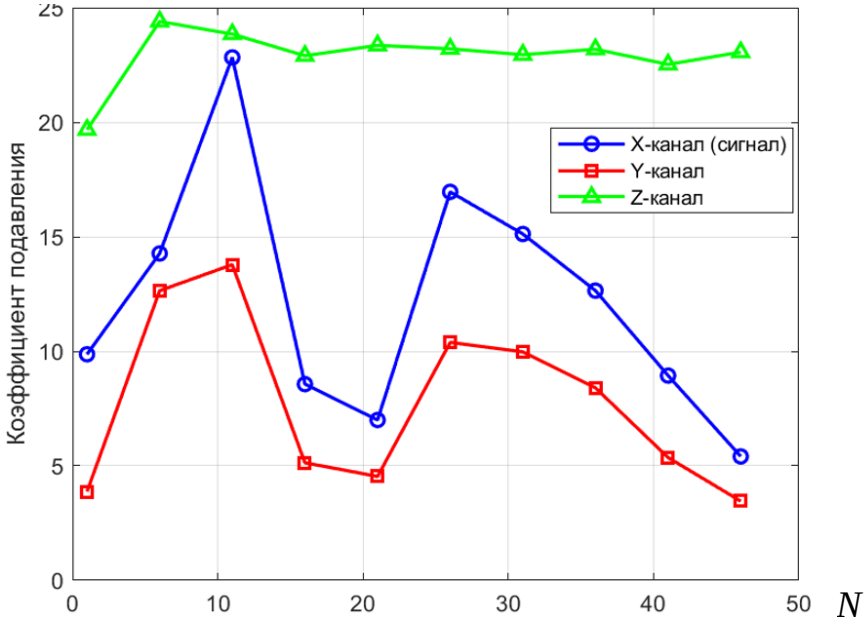


Рис. 1. Зависимость коэффициентов подавления сигналов системы TSUC от N.

В предлагаемом режекторном фильтре коэффициент подавления маскирующих хаотических Z-сигналов повышается при увеличении параметра f более 24, и уменьшении параметра c менее 1.5. При $b \geq 30$ наблюдается повышение эффективности селективного подавления маскирующих хаотических X, Y-сигналов системы TSUC, при снижении эффективности селективного подавления в канале Z.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afanasiev V.V., Mardanshin E.R. Nonlinear functional-rejection signals filters // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, 2017, Russia, article № 7997498.

2. Lin Pan, Wuneng Zhou, Jian'an Fang, Dequan Li. A New Three-Scroll Unified Chaotic System Coined // International Journal of Nonlinear Science. 2010. Vol.10, No.4. P. 462-474.

3. Mardanshin E.R., Afanasiev V.V. Transformation of Phase-shift Keying Signals by Functional Rejection Filters // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE), 2018. Vol.1, Part 3. P. 70-73.

REJECTION OF MASKING CHAOTIC DISCRETE-NONLINEAR TSUC SYSTEM SIGNALS

Afanasiev V.V., Sharifullin T.B.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The selective rejection of chaotic discrete-nonlinear TSUC system signals is developed. The influence of time sampling parameters variations on efficiency of selective rejection of discrete-nonlinear TSUC system signals is investigated.

УДК 004.942, 007.2

МНОГОУРОВНЕВОЕ ВСТРАИВАНИЕ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫЕ ЗВУКОВЫЕ ОБЪЕКТЫ

Белова О.А., Шакурский М.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные методы стеганографии требуют повышения объёма внедряемой информации при сохранении минимальной заметности изменений покрывающего объекта (ПО) [1-6]. Одним из эффективных решений является многоуровневое (многослойное) встраивание. Данный подход основан на поэтапном внедрении битов сообщения в различные битовые слои ПО с использованием итерационной процедуры, при которой каждое последующее встраивание происходит в уже модифицированный контейнер [6].

Многоуровневое встраивание реализуется как итерационная процедура, где на каждой итерации биты сообщения внедряются в отдельный битовый слой звукового объекта [2, 4, 5]. При этом важны следующие особенности:

• Исходным покрывающим объектом для первой итерации является оригинальный звуковой сигнал.

• Для каждой последующей итерации объект, модифицированный на предыдущем шаге, служит одновременно источником первой компоненты [4] и объектом для размещения второй.

• Изменения в одном слое влияют на последующее встраивание, что требует особого подхода к сохранению возможности извлечения информации.

В предлагаемой реализации процесс начинается со старших битовых слоев, которые соответствуют наиболее значимым данным звукового сигнала. Полное заполнение стегоконтейнера достигается только после прохождения всех итераций.

Преимущества метода многоуровневого встраивания:

• Значительное увеличение объёма скрываемой информации.

• Возможность адаптации к особенностям аудиосигнала.

• Повышенная устойчивость за счёт распределения данных.

Важной особенностью метода является заполнение нескольких младших слоёв ПО с сохранением статистических характеристик битовых слоёв исходного ПО [7-11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакурский, М. В. Оценка маскировки сигнала двухкомпонентной стеганографической системой при оконной обработке информации / М. В. Шакурский, О. А. Караулова // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2023. – № 2(54). – С. 9-16.

2. Патент № 2815915 C1 Российская Федерация, МПК H04L 9/00. Способ сокрытия информации : № 2023108967 : заявл. 10.04.2023 : опубл. 25.03.2024 / М. В. Шакурский, В. Н. Козловский, О. А. Караулова.

3. Шакурский, М. В. Оценка стойкости двухкомпонентной стеганографической системы / М. В. Шакурский, В. К. Шакурский // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – № 11. – С. 87-91.

4. Патент на полезную модель № 174362 U1 Российская Федерация, МПК H04L 9/00, H04K 3/00, G06F 21/00. Устройство сокрытия информации : № 2017109750 : заявл. 23.03.2017 : опубл. 11.10.2017 / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский, В. Н. Козловский, А. Г. Сорокин.

5. Патент № 2546307 C1 Российская Федерация, МПК H04L 9/00, H04K 3/00. устройство сокрытия информации : № 2014123943/08 : заявл. 10.06.2014 : опубл. 10.04.2015 / М. В. Шакурский, В. К. Шакурский.

6. Shakurskiy, M. V. Two-channel real-time steganographic system / M. V. Shakurskiy, V. I. Volovach, V. K. Shakurskiy // Proceedings of IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTS 2014, Kiev, 26–29 сентября 2014 года. – Kiev: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2014.

7. Шакурский, М. В. Особенности использования NIST тестов для анализа битовых слоев покрывающих объектов в системах стеганографии / М. В. Шакурский, Н. И. Козырева, О. А. Караулова // Инфокоммуникационные технологии. – 2024. – Т. 22, № 3(87). – С. 41-48.

8. Шакурский, М. В. Двухкомпонентная стеганографическая система на основе отношения линейных функций двух сигналов с размещением информативного сигнала в знаменателе функции встраивания сообщения / М. В. Шакурский, О. А. Караулова // Инфокоммуникационные технологии. – 2022. – Т. 20, № 1. – С. 118-124.

9. Поздняк, И. С. Выявление DOS-атак с помощью анализа статистических характеристик трафика / И. С. Поздняк, А. И. Плаван // Инфокоммуникационные технологии. – 2021. – Т. 19, № 1. – С. 73-80.

10. Поздняк, И. С. Исследование вероятностно временных характеристик трафика с помощью моделирования в ns2 / И. С. Поздняк, Н. В. Киреева // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 8. – С. 85-87.

11. Буранова, М. А. Анализ статистических характеристик мультимедийного трафика узла агрегации в мультисервисной сети / М. А. Буранова, В. Г. Карташевский, М. С. Самойлов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – № 4(16). – С. 63-69.

MULTI-LEVEL EMBEDDING OF HIDDEN INFORMATION INTO DIGITAL SOUND OBJECTS

Belova O.A., Shakursky M.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines an algorithm for multi-level data embedding into an uncompressed audio cover object. To reduce the detectability of the embedded message, an algorithm is used that preserves the statistical characteristics of the overlay's bit layers after embedding.

УДК 004.8:004.678

DEEPFAKE И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ МЕДИАФАЛЬСИФИКАЦИЙ

Киреева Н.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В эпоху стремительного развития искусственного интеллекта и генеративных моделей доверие к цифровому контенту подвергается серьёзной проверке. Deepfake — синтетические изображения, аудио и видео, созданные с помощью искусственного интеллекта — становятся всё более правдоподобными, и массовое распространение таких материалов представляет серьёзную угрозу как для бизнеса, так и для общества. Международные организации и эксперты фиксируют возрастающую частоту использования deepfake в мошеннических схемах и дезинформации и поднимают вопрос глобальной стандартизации методов обнаружения и прослеживаемости контента.

Автоматизированная детекция deepfake — сегодня это не просто академический интерес, а необходимое направление исследования и практики. Рассмотрим современные подходы к обнаружению таких подделок, их вызовах и возможностях, и определим, что важно учитывать при исследовании этой проблемы.

Число deepfake-инцидентов стремительно растёт: с 2023 по 2025 год их количество, по некоторым оценкам, вырастет с 500 000 до 8 млн в год. Случаи включают мошенничество с подделкой голоса директоров компаний, подчёркивающие, что традиционные методы защиты уже не справляются с изощренностью атак. По данным «Информзащита», только в финансовом секторе в 2024 году число таких атак увеличилось на 13 %, достигнув 5,7 тыс. случаев. Успешность — примерно от 15 % до 20 % [1].

Среди исследовательских направлений к детекции deepfake можно выделить:

- Мультимодальные методы. Обработка видео, аудио и текста одновременно, что увеличивает точность обнаружения fake-контента.
- Transformer-based подходы. Сети вроде Swin Transformer демонстрируют лучшие показатели в классификации deepfake-изображений по сравнению с классическими CNN-моделями, хотя пока с точностью около 71 %.
- Устойчивость к атакам и обобщаемость. Недавние исследования подчёркивают, что модели часто уязвимы к adversarial-модификациям, и необходимость усиления устойчивости — важнейшая тенденция.
- Оценка в реальных условиях. Многие методы демонстрируют высокую точность на известных датасетах, но почти теряют эффективность на материалах «в дикой природе». Кроме того, появилось исследование, предлагающее оценочную платформу, моделирующую реальные искажения и улучшения устойчивости моделей при таких условиях.

- Новые подходы к проверке контента — например, embedding light-coded watermark: идея скрытой световой метки, не уязвимой к подделке и компрессии.

Из институтов и стартапов появляются инструменты для реального применения:

- Reality Defender — система детекции deepfake в реальном времени, демонстрирует успешное распознавание поддельных видеозвонков.
- Стратегии защиты включают многоуровневый подход: автоматическая проверка, анализ метаданных, человеческая экспертиза и аудит данных.
- Нужен глобальный стандарт: организации говорят о необходимости международных методов проверки подлинности контента и его происхождения, как, например, водяных знаков или цифровой аутентификации.

Технологии deepfake представляют собой одну из самых острых угроз для цифрового общества — от мошенничества и корпоративных атак до дезинформации на общественном уровне. Однако усилия науки и технологии уже предлагают пути противодействия: развитые мультимодальные и transformer-based модели; устойчивость моделей и надежность в реальных условиях; скрытые световые метки, инструменты типа Reality Defender.

Сочетание технических решений, научных достижений и международных стандартов позволит создать надёжную систему выявления deepfake-материалов, защищая людей, организации и доверие к цифровому контенту. Борьба с deepfake — это защита доверия к цифровому контенту, экономической безопасности и общественной стабильности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одинаковы с лица: в России выросло число атак с применением дипфейков. [Электронный ресурс]. / URL: https://deloros-msk.ru/publikatsii/odinakovy-s-litsa-v-rossii-vyroslo-chislo-atak-s-primeneniem-dipfeykov/?utm.

DEEPFAKE AND AUTOMATED DETECTION OF MEDIA FALSIFICATIONS

Kireeva N.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article is devoted to the analysis of threats associated with deepfake technology and modern methods of automated detection of falsified media content. The following situations are considered: the increase in the number of incidents related to video and audio forgery and statistical data for 2024–2025. The overview of scientific approaches includes multimodal models, transformers for video analysis, resistance to adversarial attacks, and new authentication methods, such as hidden digital watermarks. Practical tools and protection strategies are discussed. The need for a comprehensive approach — combining technology, science, and regulation to ensure the security of digital content and public trust — is emphasized.

УДК 004.056

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АКТИВОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Красюков К.В., Поздняк И.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для малых и средних предприятий наблюдается слабая зрелость практик ИБ. Для них рекомендуется набор простых, воспроизводимых мер (многофакторная аутентификация, резервное копирование, сегментация, обучение), а также предоставляет определенный интерес отраслевые обзоры угроз. Распространение искусственного интеллекта (ИИ) трансформирует поверхность атаки и киберзащиты: появляются новые классы уязвимостей приложений на LLM (Large Language Model), риски цепочек поставок моделей и контента, а также методики противодействия, оформленные в стандартах и профилях управления рисками.

Генеративный ИИ стал довольно серьезно рассматриваться как источник угроз, куда можно отнести масштабирование и частичную автономизация атак, фишинг и социальная инженерия, уязвимости приложений, исследовательский контекст и другие. Поэтому вполне резонно стало использовать искусственный интеллект в качестве инструментов защиты. Например, для обнаружения аномалий, аналитики и автоматизации реагирования. Систематические обзоры некоторых систем типа систем обнаружения вторжений подтверждают эффективность методов машинного обучения в сетевой/хостовой телеметрии, особенно для сложных, малошумных аномалий, для облачных сред предлагаются подходы на временных рядах и комбинированных признаках [1].

Кроме того, возможна интеграция в платформы безопасности EDR (Endpoint Detection and Response). В этих системах осуществляется переход к единому телеметрическому слою и корреляции потока данных, что снижает нагрузку на центр мониторинга и особенно ценно для предприятий. Ряд работ демонстрирует полезность LLM-агентов для автоматизированного теста на проникновение и сценарного сканирования веб-приложений, что позволяет компаниям удостовериться в правильности применяемых защитных мер.

Так же допустимо применение ИИ с целью использования его механизмов в процессе обучения и повышения осведомленности сотрудников. Некоторые исследования по обучению пользователей показывают, что тренинги вносят вклад в снижение поведенческих рисков, но эффект зависит от формы подачи: важны регулярность, симуляция фишинга, персонализация, обратная связь по метрикам.

Вместе с тем существуют определенные ограничения полноценного внедрения генеративного ИИ в механизмы защиты предприятий. В первую очередь, это организационно-управленческие аспекты, связанные с необходимостью применения политики допустимого использования, инвентаризации моделей или датасетов, контролем утечек и прочее.

Исследования по «когнитивным SOC» указывают на важность распределения ролей между ИИ и аналитиком: формирование доверия к подсказкам, объяснимость выводов и воспроизводимость решений.

Искусственный интеллект одновременно увеличивает атакующую поверхность и открывает новые возможности защиты. Для небольших организаций практической стратегией должен являться риск-ориентированный подход, куда входит использование профилей и общепризнанных стандартов, соблюдение архитектурных и эксплуатационных мер OWASP, интегрирование AI-функций в существующие платформы телеметрии и выстраивание обучения персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Issa M.M. Systematic literature review on intrusion detection systems // Journal of Intelligent Systems. [Электронный ресурс] / URL: https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/jisys-2023-0248/html (дата обращения: 01.09.2025).

APPLICATION OF GENERATIVE AI TO PROTECT ENTERPRISE ASSETS

Krasyukov K.V., Pozdnyak I.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article examines the dual role of generative artificial intelligence (GenAI) for enterprises. On the one hand, GenAI scales and increases the credibility of attacks (phishing, deepfakes, automated offensive scenarios, prompt injection, data poisoning, supply chain vulnerability models). On the other hand, it expands the arsenal of defenses (anomaly detection, automated response, attacker scenario modeling, threat analytics, and increased employee awareness).

УДК 004.056

ПРИМЕНЕНИЕ XAI ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ MLOPS С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

[1]Нагибин Д.В., [2]Кокоулин Р.А., [3]Кокоулин А.Н., [4]Южаков А.А.
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

Сложность и непрозрачность моделей машинного обучения (МО) создают специфические уязвимости, представляющие серьезную угрозу для надежности и безопасности многих критически важных систем (например, здравоохранения, финансов и национальной безопасности).

Для обеспечения стабильной и безопасной работы моделей концепция MLOps становится ключевой. MLOps охватывает ключевые аспекты, такие как управление данными, версиями моделей, автоматизированное развертывание и непрерывный мониторинг, обеспечивая эффективную интеграцию данных, инфраструктуры и процессов [1]. Для эффективной защиты систем МО необходимо учитывать угрозы ИБ на каждом этапе жизненного цикла MLOps, применять соответствующие меры и активно интегрировать методы XAI для повышения прозрачности, надежности и верифицируемости моделей.

Объяснимость моделей МО напрямую способствует повышению безопасности, позволяя проводить более глубокий анализ и выявлять скрытые уязвимости и предвзятости. Понимание логики принятия решений позволяет прогнозировать поведение модели в различных сценариях, что позволяет не только обнаруживать потенциальные уязвимости, но и разрабатывать эффективные меры для их предотвращения [2].

Ключевым элементом успешной интеграции XAI является его внедрение в конвейеры непрерывной интеграции и доставки (CI/CD) и использование специализированного инструментария (например, Mlflow и Kubeflow Pipelines).

Внедрение XAI в MLOps сопряжено с необходимостью поиска оптимального баланса между объяснимостью модели и её точностью, что может потребовать выбора более простых интерпретируемых моделей [3].

Интеграция XAI в MLOps может быть формализована как система управления рисками, где каждый уровень зрелости соответствует определенному этапу снижения рисков, характеризующемуся переходом от реактивного подхода, ориентированного на устранение последствий угроз, к проактивному, направленному на их предотвращение. Для успешной реализации рекомендуется поэтапный подход. Также перспективным представляется рассмотрение MLOps как киберфизической системы [4].

Интеграция объяснимости (XAI) в процессы MLOps находит поддержку в ряде нормативных документов, включая NIST IR 8312 (определяющий основные принципы XAI: объяснимость, точность, ограниченность и согласованность) [5], а также ISO/IEC 27001 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001.

Для систематической оценки текущего состояния процессов разработки и внедрения моделей МО, выявления областей для улучшения и обеспечения соответствия требованиям ИБ, может быть полезна модель оценки зрелости

MLOps с точки зрения XAI. Однако, существующие модели оценки зрелости MLOps, как правило, рассматривают XAI как один из множества методов.

Оценка зрелости MLOps с точки зрения ИБ и объяснимости может быть основана на четырех ключевых критериях: степень интеграции XAI в этапы жизненного цикла модели (обучение, развертывание, мониторинг), уровень автоматизации анализа угроз (переход от реактивного к предиктивному подходу), баланс между объяснимостью и производительностью (выбор методов, соответствующих требованиям задачи) и скорость реагирования на угрозы с использованием инструментов XAI.

Модель оценки зрелости MLOps с точки зрения XAI и ИБ может оказаться полезной и эффективной при оценке и повышении уровня безопасности и надежности систем МО, однако ее практическая ценность должна быть подтверждена практически.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kreuzberger D. Machine Learning Operations (MLOps): Overview, Definition, and Architecture / D. Kreuzberger, N. Kühl, S. Hirschl // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – Machine Learning Operations (MLOps). – P. 31866-31879.

2. Explainable artificial intelligence for cybersecurity: a literature survey / F. Charmet [et al.] // Annals of Telecommunications. – 2022. – Vol. 77. – Explainable artificial intelligence for cybersecurity. – № 11-12. – P. 789-812.

3. Investigating the Duality of Interpretability and Explainability in Machine Learning / M. Garouani [и др.] // 2024 IEEE 36th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI) 2024 IEEE 36th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). – 2024. – С. 861-867.

4. MLOps for Cyberphysical Production Systems: Challenges and Solutions / L. Faubel [и др.] // IEEE Software. – 2025. – Т. 42. – MLOps for Cyberphysical Production Systems. – № 1. – С. 65-73.

5. Four principles of explainable artificial intelligence / P.J. Phillips [et al.]. – Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology (U.S.), 2021.

APPLYING XAI FOR ASSESSING MLOPS MATURITY FROM AN INFORMATION SECURITY PERSPECTIVE

[1]Nagibin D.V., [2]Kokoulin R.A., [3]Kokoulin A.N., [4]Yuzhakov A.A.
(Perm National Research Polytechnic University)

This paper focuses on the potential of applying a maturity model to MLOps from the perspective of information security and explainable AI (XAI). It highlights the importance of integrating XAI to enhance model resilience against security threats and proposes a framework based on four key criteria: XAI integration across the model lifecycle, automation of threat analysis, balance between explainability and performance, and speed of threat response using XAI tools.

УДК 004.056

АНАЛИЗ УГРОЗ ИБ В IOT С ПОМОЩЬЮ КЛАССИФИКАТОРА STRIDE

Савин Е.А., Козырева Н.И.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Применение классификатора угроз STRIDE для анализа безопасности систем Интернета вещей (IoT) является высокоэффективным структурированным методом, который позволяет проактивно выявить и систематизировать уязвимости на всех уровнях IoT-архитектуры (устройство, связь, облако), что необходимо для разработки комплексных мер противодействия кибератакам.

Системы IoT характеризуются уникальными вызовами для информационной безопасности: огромная масштабируемость, ограниченные вычислительные ресурсы устройств, разнородность коммуникационных протоколов и физическая доступность многих сенсоров и актуаторов. Эти особенности требуют специализированного, системного подхода к анализу угроз, выходящего за рамки традиционных IT-методов [1].

Классификатор STRIDE предоставляет идеальную основу для такого анализа [2]. Его преимущество заключается в структурировании анализа по шести ключевым типам угроз: анализ угроз аутентификации (например, подмена датчика в сети или устройства в облаке), анализ угроз целостности данных (например, изменение показаний датчика или прошивки устройства), анализ возможности доказательства выполнения действий (например, невозможность установить, кто отправил команду на исполнительный механизм), анализ угроз конфиденциальности (например, перехват незашифрованных данных между устройством и шлюзом), анализ угроз доступности (например, DDoS-атака на сетевой шлюз или разряд батареи устройства), анализ угроз авторизации (например, получение прав администратора на устройстве через уязвимость в прошивке).

Поэтапное применение STRIDE к каждому компоненту IoT-системы (от отдельного сенсора до облачной платформы) позволяет построить полную матрицу угроз. То есть, может быть получен не просто теоретический результат, а практический инструмент, который систематизирует процесс поиска уязвимостей, приоритизирует риски на основе их потенциального воздействия, а также напрямую связывает выявленные угрозы с конкретными мерами защиты. Например, использование цифровых сертификатов для противодействия спуфингу, шифрование каналов связи, механизмы контроля целостности прошивки.

Таким образом, классификатор STRIDE выступает не просто таксономией, а мощным аналитическим каркасом. Его использование для моделирования угроз в IoT позволяет перейти от реагирования на инциденты к проактивному построению безопасного жизненного цикла IoT-устройств и инфраструктуры, что является критически важным условием для надежного внедрения технологий

Интернета веса в критически важных областях, таких как умный город, промышленность и здравоохранение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещагина, Е.А. Проблемы безопасности Интернета вещей. Е.А. Верещагина, И.О. Капецкий, А.С. Ярмонов Учебное пособие – М.: Мир науки, 2021. – Сетевое издание. Режим доступа: https://izd-mn.com/PDF/20MNNPU21.pdf – Загл. с экрана.
2. R. Khan, K. McLaughlin, D. Laverty, and S. Sezer, “STRIDE-based threat modeling for cyber-physical systems,” in 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2017, pp. 1–6.

ANALYSIS OF INFORMATION SECURITY THREATS IN IOT USING THE STRIDE CLASSIFIER

Savin E.A., Kozyreva N.I.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report provides an analysis of the application of the STRIDE threat classifier to assess the security of Internet of Things (IoT) systems. It shows that STRIDE is a highly effective structured method that allows you to proactively identify and systematize vulnerabilities at all levels of the IoT architecture (device, communication, cloud), which is necessary to develop comprehensive measures to counter cyber attacks.

УДК 004.056

АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ КИБЕРАТАК: ПРИКЛАДНОЙ ПОДХОД

Аникин С.А., Козырева Н.И.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Авторегрессионные модели (AR — Autoregressive models) — это класс статистических моделей временных рядов, в которых текущее значение ряда выражается как линейная комбинация его предыдущих значений (лагов) с добавлением случайной ошибки. Такой подход лежит в основе многих популярных методов прогнозирования и широко применяется в экономике, финансах, кибербезопасности и других областях, где важна динамика во времени.

К основным моделям этого семейства относятся: AR(p) — авторегрессия порядка p, MA(q) — скользящее среднее порядка q, ARMA(p,q) — комбинация AR и MA, ARIMA(p,d,q) — ARMA с интегрированием (учётом тренда), SARIMA(p,d,q,m) — сезонная ARIMA, ARIMAX/SARIMAX — расширения с экзогенными переменными.

Для оценки эффективности моделей они сначала формируются и обучаются на исторических данных, после чего рассчитываются метрики ошибок (например, MAE, RMSE, MAPE), на основе которых выбирается оптимальная модель и проводится анализ результатов. В рамках данного исследования обучение проводилось на датасете, доступном по ссылке [1], с использованием двух Python-библиотек: StatsForecast и statsmodels.

StatsForecast — это высокопроизводительная библиотека от компании Nixtla, ориентированная на быстрое и масштабируемое прогнозирование временных рядов [2]. Она поддерживает параллельные вычисления, что особенно полезно при одновременной обработке множества рядов. Модель AR может быть задана как ARIMA(p,0,0), что делает её удобной для базовых экспериментов. Однако ключевое ограничение StatsForecast — отсутствие поддержки экзогенных переменных (например, индикаторов уязвимостей, активности в соцсетях и т.п.), что исключает возможность моделирования внешних факторов.

Это вынуждает перейти к использованию statsmodels — библиотеки, ориентированной не на скорость, а на глубину анализа [3]. В отличие от StatsForecast, statsmodels позволяет включать экзогенные регрессоры (через ARIMAX/SARIMAX), проводить статистическую проверку гипотез, оценивать значимость коэффициентов и диагностировать остатки модели. Однако она не поддерживает параллельные вычисления и работает медленнее, особенно при массовом прогнозировании. Таким образом, StatsForecast идеален для production-сред и больших объёмов данных, а statsmodels — для исследовательских задач, требующих интерпретируемости и контроля.

В ходе исследования была проведена эмпирическая оценка эффективности авторегрессионных моделей (AR, ARIMA, SARIMA, ARIMAX) в задаче прогнозирования ежедневного количества DDoS-атак. Анализ показал, что наиболее точной моделью оказалась классическая ARIMA(1,1,1) с минимальной средней абсолютной ошибкой (MAE = 2.8155), что свидетельствует о достаточности учёта тренда и краткосрочной автокорреляции для данного типа атак.

Интересно, что более сложные модели — SARIMA (с сезонностью) и ARIMAX (с экзогенной переменной «день недели») — продемонстрировали худшую точность, чем базовая ARIMA. Это позволяет предположить, что ни недельная сезонность, ни день недели не являются значимыми факторами в динамике DDoS-атак на исследуемом датасете.

Полученные результаты подтверждают тезис о том, что сложность модели не гарантирует лучшее качество прогноза. Выбор оптимальной модели должен основываться на эмпирической проверке, а не на теоретических предпосылках. В то же время, ограничения StatsForecast (отсутствие поддержки экзогенных переменных) подчеркивают необходимость использования statsmodels для всестороннего анализа.

Таким образом, для прогнозирования кибератак рекомендуется комплексный подход: начинать с простых, интерпретируемых моделей (ARIMA), постепенно добавляя сложность (сезонность, экзогенные факторы) только при статистически значимом улучшении качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cyber Security Attacks Dataset [Электронный ресурс] // Kaggle. – URL: https://www.kaggle.com/datasets/teamincribo/cyber-security-attacks
2. StatsForecast: High-Performance Forecasting Library [Электронный ресурс] // Nixtla Documentation. – URL: https://nixtlaverse.nixtla.io/statsforecast.
3. Statsmodels: Statistical Modeling in Python [Электронный ресурс] // Official Documentation. – URL: https://www.statsmodels.org/stable/index.html

AUTOREGRESSIVE MODELS IN FORECASTING CYBER ATTACKS: APPLICATIONS APPROACH

Anikin S.A., Kozyreva N.I.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Autoregressive models (AR — Autoregressive models) are a class of statistical time series models in which the current value of a series is expressed as a linear combination of its previous values (lags) with the addition of a random error. This approach underlies many popular forecasting methods and is widely used in economics, finance, cybersecurity, and other areas where time dynamics are important.

УДК 004.056

УЧЕТ ВНЕШНИХ СОЦИО-ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ КИБЕРАТАК: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД

Аникин С.А., Козырева Н.И.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе представлен многоуровневый подход к интеграции социо-технических факторов в системы прогнозирования кибератак. Рассматриваются методы анализа цифрового дискурса, позволяющие выявлять ранние сигналы киберугроз на основе анализа настроений и поведенческих паттернов в цифровых медиа.

Современная кибербезопасность переходит от реактивных к проактивным стратегиям, где ключевую роль играет прогнозирование угроз. Особое значение приобретают социо-технические факторы — настроения, обсуждения и поведенческие паттерны в цифровых медиа, которые часто предшествуют кибератакам. Комплексный анализ этих факторов позволяет выявлять слабые сигналы надвигающихся угроз.

Анализ тональности. Наиболее развитый подход основан на применении предобученных BERT-моделей (Bidirectional Encoder Representation from Transformers), обеспечивающих непрерывную оценку эмоциональной окраски текстов в диапазоне от -1.0 (крайне негативный) до +1.0 (крайне позитивный) [1]. В отличие от бинарной классификации, непрерывная оценка позволяет улавливать тонкие нюансы эмоциональных состояний и измерять интенсивность негативных настроений. Резкие сдвиги тональности в негативную область часто коррелируют с последующими кибератаками, обеспечивая окно прогнозирования от 1 до 3 дней.

Тематическое моделирование. Методы латентного размещения Дирихле (LDA) [2] и BERTopic позволяют автоматически выявлять скрытые тематические структуры в корпусах текстов. В контексте кибербезопасности тематическое моделирование идентифицирует обсуждения уязвимостей (CVE), методов атак (программы-вымогатели, фишинг) и целевых инфраструктур. Рост доли определенных тем во временном ряду служит индикатором активизации соответствующих киберугроз.

Подсчёт частотности и трендов. Анализ динамики упоминаний ключевых сущностей — уязвимостей, вектором атак, субъектов угроз — предоставляет количественные метрики интереса злоумышленников к определенным векторам атак. Нормализованные метрики частотности (например, доля упоминаний от общего объема дискурса) позволяют отделять сигнал от шума и выявлять статистически значимые аномалии.

Анализ эмоций. Продвинутые классификаторы эмоций выходят за рамки биполярной шкалы тональности, идентифицируя дискретные эмоциональные состояния: гнев, страх, радость, ожидание. В кибербезопасности особую прогностическую ценность представляет рост эмоций страха и гнева в

профессиональных сообществах, что часто свидетельствует о обнаружении критических уязвимостей или успешных атаках.

Интеграция социо-технических факторов в системы прогнозирования кибератак представляет собой смену парадигмы в кибербезопасности. Комплексный анализ цифрового дискурса позволяет перейти от реагирования на инциденты к проактивному предсказанию угроз, обеспечивая критически важное временное окно для принятия защитных мер в организации. Дальнейшее развитие направления связано с улучшением моделей обработки естественного языка для специализированных доменов кибербезопасности и разработкой методов интеграции в реальном времени гетерогенных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гупта, Р. От двунаправленных кодировщиков до новейших достижений: обзор BERT и его преобразующего влияния на обработку естественного языка. Информатика. Экономика. Управление - Informatics. Economics. Management, 3(1) Электронный ресурс] // — 2024. — URL: https://oajiem.com/index.php/24/article/view/73 (дата обращения: 18.09.2025).
2. Blei D. M. Latent Dirichlet allocation / D. M. Blei, A. Y. Ng, M. I. Jordan // Journal of Machine Learning Research – 2003. – Vol. 3, P. 993–1022

CONSIDERATION OF EXTERNAL SOCIO-TECHNICAL FACTORS IN FORECASTING CYBER ATTACKS: AN INTEGRATED APPROACH

Anikin S.A., Kozyreva N.I.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents a multi-level approach to the integration of socio-technical factors into cyberattack forecasting systems. The methods of digital discourse analysis are considered, which make it possible to identify early signals of cyber threats based on the analysis of moods and behavioral patterns in digital media.

УДК 004.056, 621.396.6

БЕЗОПАСНЫЙ ПРОТОКОЛ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ КРИПТОГРАФИИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ

Сорокин И.А.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Беспроводные сенсорные сети, состоящие из множества автономных узлов с ограниченными вычислительными ресурсами и энергопитанием, критически уязвимы для злонамеренных атак. Динамическая природа таких сетей, особенно мобильных мобильных сенсорных сетей, усугубляет риски.

Беспроводные сенсорные сети подвержены широкому спектру угроз безопасности, обусловленных их распределённой природой и использованием открытой эфирной среды передачи данных [2]. Одной из ключевых проблем является нарушение конфиденциальности, когда злоумышленник получает несанкционированный доступ к передаваемой информации. Отдельную категорию рисков составляют атаки, нацеленные на механизмы управления сетевым трафиком, которые могут нарушить нормальное функционирование всей инфраструктуры.

Таким образом, помимо классической задачи снижения энергопотребления (часто решаемой за счет агрегации данных), остро стоит задача построения безопасной архитектуры, обеспечивающей конфиденциальность, целостность, аутентификацию и доступность данных.

Предлагаемая методология направлена на создание защищенного сквозного канала от сенсорного узла до базовой станции. Архитектура протокола состоит из следующих ключевых этапов, каждый из которых усиливает безопасность системы.

Высокая стойкость при коротких ключах: Обеспечивает уровень безопасности, сопоставимый с RSA, но с значительно меньшей вычислительной сложностью и размером ключа, что идеально для устройств с ограниченными ресурсами.

Сквозное шифрование: Данные шифруются на узле-источнике открытым ключом базовой станции и могут быть расшифрованы только ею. Это защищает данные при передаче через CA и другие промежуточные узлы.

В процессе шифрования на узле исходные данные, называемые открытым текстом, сначала преобразуются в точку на эллиптической кривой [1]. Затем для этого сеанса связи генерируется случайный секретный ключ, который вместе с открытым ключом базовой станции используется для вычисления шифротекста, состоящего из двух компонент (C и CT). Для обеспечения целостности и аутентичности передаваемой информации к шифротексту добавляется код аутентификации сообщения (MAC), вычисленный на основе общего секретного ключа[3].

Агрегированные и зашифрованные данные передаются с CA на базовую станцию. БС, используя свой закрытый ключ, выполняет окончательную

расшифровку и получает итоговую агрегированную информацию. Механизм восстановления потерянных данных на основе хэш-функций повышает отказоустойчивость системы.

Предложенный протокол обеспечивает комплексную защиту от ключевых угроз. Конфиденциальность данных гарантируется за счет сквозного шифрования по схеме EC ElGamal, которое надёжно защищает информацию от перехвата. Целостность и аутентичность данных обеспечиваются механизмом MAC-кодов, который обнаруживает любые несанкционированные изменения и подтверждает подлинность источника информации. Кроме того, протокол повышает устойчивость к атакам на доступность сети благодаря интеллектуальному выбору центра аутентификации и проверке данных на месте, что предотвращает быстрое истощение ресурсов сети из-за передачи поддельных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Череда Н.Н., Андреев А.В. Применение методов криптографии эллиптических кривых в беспроводных сетях. // Труды СПИИРАН, №8, СПб.: Издательство Политехнического университета, 2018 г. – С. 124–136.

2. Гаврилюк О.А., Попова Ю.Г. Использование криптографических протоколов на основе эллиптических кривых для защиты беспроводных сетей датчиков. Учебное пособие. Москва: МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2019 г. – 128 с.

3. Колодяжный Д.С. Безопасность передачи данных в беспроводных сенсорных сетях с использованием алгоритмов на эллиптических кривых. Автореферат диссертации кандидата технических наук. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2020 г. – 24 с.

A SECURE DATA AGGREGATION PROTOCOL FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS BASED ON ELLIPTICAL CURVE CRYPTOGRAPHY

Sorokin I.A.

(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

Wireless sensor networks are widely used in various applications, but they face two key challenges: high power consumption and threats to data security and privacy. Sensor nodes often have limited resources (memory, energy), and their location in uncontrolled environments makes them vulnerable to attacks.

One effective method for reducing energy consumption is data aggregation – combining information from multiple nodes into a single packet before sending it to the base station. This reduces the volume of transmitted traffic. However, it is necessary to ensure the integrity, confidentiality, and authenticity of the aggregated data.

УДК 004.056

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ IOT: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР АЛГОРИТМА

Чесноков А.Д.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Интернет вещей революционизирует различные отрасли – от умного дома и здравоохранения до промышленности и транспорта. Однако повсеместное распространение IoT-устройств, часто спроектированных с приоритетом энергоэффективности и стоимости в ущерб безопасности, создало огромную и уязвимую поверхность для атак. Статистика последних лет показывает устойчивый рост целенаправленных атак на IoT, включая атаки типа «отказ в обслуживании», сканирование уязвимостей (Reconnaissance) и использование эксплойтов.

Традиционные средства защиты, такие как межсетевые экраны и сложные криптографические протоколы, часто неприменимы из-за ограниченной вычислительной мощности и памяти IoT-устройств. В этом контексте наиболее перспективным решением являются интеллектуальные системы обнаружения вторжений, способные анализировать сетевой трафик и выявлять аномальную и вредоносную активность.

Машинное обучение предлагает мощный инструментарий для создания адаптивных и эффективных IDS. В отличие от сигнатурных методов, которые ищут известные шаблоны атак, ML-модели могут обучаться распознавать сложные и ранее неизвестные аномалии в поведении сети.

Исследования в этой области активно развиваются. В научной литературе представлены работы по применению: Глубокого обучения: такие как глубокие нейронные сети и сети долгой краткосрочной памяти, показывающие рекордную точность [1]. Ансамблевых методов: например, ELNIDS для обнаружения атак маршрутизации в IoT-сетях [2]. Гибридных подходов: комбинирующих, к примеру, искусственные иммунные системы и машины экстремального обучения.

Однако зачастую эти методы исследуются изолированно, что затрудняет выбор оптимального алгоритма для практического внедрения.

Для устранения этого пробела было проведено сравнительное исследование девяти классических и современных алгоритмов МО:

1. Контролируемое обучение: Логистическая регрессия, метод опорных векторов, k-ближайших соседей, наивный байесовский классификатор, случайный лес и алгоритмы градиентного бустинга.
2. Неконтролируемое обучение: K-средних – для сравнения эффективности двух парадигм.

Обучение и тестирование проводились на современном наборе данных UNSW-NB15, который содержит как нормальный трафик, так и записи о девяти типах современных атак.

Критически важными для развертывания в ресурсо-ограниченных средах IoT являются три группы метрик:

1. Точность: Способность правильно обнаруживать атаки и минимизировать ложные пропуски.
2. Эффективность: Площадь под ROC-кривой, которая оценивает общее качество классификации.
3. Скорость: Время обучения модели, определяющее возможность ее быстрого развертывания и адаптации.

Высокие показатели «Случайного леса» были успешно подтверждены на тестовой выборке данных, что свидетельствует о его хорошей обобщающей способности и пригодности для работы с реальным сетевым трафиком.

Проведенный анализ убедительно доказывает, что алгоритм «Случайный лес» является на сегодняшний день наиболее сбалансированным и перспективным выбором для построения систем обнаружения вторжений в IoT-сетях. Он сочетает в себе высочайшую точность обнаружения, отличную скорость работы и устойчивость к переобучению.

Это делает его идеальным кандидатом для практического внедрения в системах, где необходимо обеспечить безопасность без чрезмерного потребления вычислительных ресурсов.

Таким образом, машинное обучение, и в частности алгоритм «Случайный лес», предлагает мощный и практичный инструмент для укрепления безопасности стремительно растущей экосистемы Интернета вещей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошеин Б.Н., Покровский И.А. Понятия и критерии оценки технологической независимости и безопасности объектов критической информационной инфраструктуры // Безопасность информационных технологий. 2023. Т. 30. № 4. С. 39-60.
2. Alekseev V.M., Chichkov S.N. Information security in intelligent mass transit management systems. Dependability 2022;22(3):62-68.

MACHINE LEARNING FOR IOT PROTECTION: COMPARATIVE ANALYSIS AND ALGORITHM SELECTION

Chesnokov A.D.
(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

To increase the security of IoT devices by applying machine learning algorithms to detect attacks in IoT networks. The urgency of the task is due to the growing number of cyber attacks and the widespread use of IoT systems. The random forest algorithm is the most effective algorithm for detecting intrusions in IoT networks among the ones considered. Future work includes the multi-classification of attack types.

УДК 004.056.5:004.75

МЕТОДЫ ШИФРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ.

Бакайкина В.Г.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Распространение облачных технологий кардинально изменило подходы к хранению и обработке данных. Однако передача конфиденциальной информации под контроль третьей стороны (провайдера) порождает серьезные риски, связанные с конфиденциальностью, целостностью и доступностью. Классические методы защиты периметра неэффективны в модели общей ответственности, где клиент отвечает за безопасность данных в облаке. Актуальность темы обусловлена необходимостью применения криптографических методов как краеугольного камня защиты информации в облаках. Защита данных в облаке должна обеспечиваться на всех этапах их жизненного цикла.

Симметричное шифрование (AES, ГОСТ 34.12-2015 «Кузнечик») - массовое шифрование больших объемов данных (файлы, базы данных) на стороне клиента перед загрузкой в облако. Преимущества данного метода - высокая скорость работы. Недостаток сложность управления и безопасной передачи ключей дешифрования большому числу пользователей.

Асимметричное шифрование (RSA, Эль-Гамаль). Безопасная передача сеансовых ключей для симметричного шифрования, цифровые подписи. Недостаток низкая производительность, что делает его непригодным для шифрования больших данных. Ключевой проблемой классического шифрования является необходимость расшифровки данных для их обработки, что подвергает их риску на стороне провайдера. Решению этой проблемы посвящены новые криптографические схемы.

Гомоморфное шифрование (FHE, SHE). Позволяет производить математические операции (сложение, умножение) непосредственно с зашифрованными данными, получая зашифрованный результат, который при расшифровке совпадает с результатом операций над открытыми данными. Конфиденциальные статистические расчеты, машинное обучение на зашифрованных данных. Из минусов чрезвычайно высокая вычислительная сложность, что ограничивает практическое применение на текущий момент.

Шифрование на основе атрибутов (ABE). Тип шифрования, где доступ к расшифрованию определяется не идентичностью пользователя, а набором его атрибутов (например, «отдел: бухгалтерия», «должность: менеджер»). Идеально подходит для моделей с тонким управлением доступом в облачных хранилищах, снижает нагрузку на центры распределения ключей. Эффективность любой криптосистемы зависит от безопасности ключей. В облачной модели возникает дилемма: хранить ключи у себя (повышает безопасность, но усложняет доступ) или в облаке (удобно, но рискованно).

Предлагаемая гибридная модель защиты данных на основе анализа многоуровневая модель:

Уровень хранения: Шифрование данных перед загрузкой в облако с использованием симметричных алгоритмов (AES-256-GCM).

Уровень доступа: Использование ABE для гибкого и безопасного распределения прав доступа к зашифрованным данным среди пользователей.

Уровень обработки: Применение частично гомоморфного шифрования для конкретных операций (например, агрегации данных), где это критически необходимо и оправдано производительностью.

Уровень управления ключами: Хранение корневых ключей в локальном или облачном HSM, использование облачного KMS для управления сеансовыми ключами.

Универсального метода шифрования для всех облачных сценариев не существует. Выбор метода зависит от модели сервиса (IaaS/PaaS/SaaS) и требуемых операций с данными. Классические методы (симметричное/асимметричное шифрование) остаются основой для защиты данных при хранении и передаче, но не решают проблему конфиденциальной обработки. Перспективные технологии (гомоморфное шифрование, ABE) открывают новые возможности для безопасной работы в облаке, но требуют дальнейшего развития для преодоления ограничений по производительности и сложности. Безопасность облачных данных обеспечивается не отдельным алгоритмом, а гибридной криптосистемой, интегрированной с надежной инфраструктурой управления ключами и политиками контроля доступа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шаньгин В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. – М.: Радио и связь, 2018. – 336 с.
2. Gentry C. A Fully Homomorphic Encryption Scheme [Электронный ресурс]. – Stanford University, 2009. – URL: https://crypto.stanford.edu/craig/craig-thesis.pdf (дата обращения: 17.10.2023).

ENCRYPTION METHODS FOR DATA PROTECTION IN CLOUD SERVICES

Bakaykina V.G.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper analyzes modern encryption methods used for data protection in cloud environments. It examines the conflict between the need to ensure data confidentiality and the requirements for its availability and functionality for processing. Particular attention is paid to promising technologies such as homomorphic encryption and attribute-based encryption (ABE), which enable operations to be performed on encrypted data without decryption.

УДК 004.056.5

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Бухнер А.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современных условиях развития информационных технологий вопросы защиты информации в инфокоммуникационных сетях приобретают особую актуальность [1]. С ростом количества передаваемых данных и расширением возможностей доступа к ним возрастает и количество угроз информационной безопасности [2].

Основные угрозы в инфокоммуникационных сетях включают несанкционированный доступ к информации, перехват данных при передаче, модификацию передаваемой информации, отказ в обслуживании (DoS-атаки) и вредоносное программное обеспечение [3]. Эти угрозы могут привести к серьезным последствиям, включая утечку конфиденциальных данных, финансовые потери и нарушение работы критически важных систем [4].

Методы защиты информации в современных сетях реализуются на нескольких уровнях. На техническом уровне применяются криптографическая защита данных, межсетевое экранирование, системы обнаружения вторжений и аутентификация пользователей [5]. Организационный уровень включает разработку политик безопасности, обучение персонала и контроль доступа к информации [6]. Правовой уровень охватывает нормативно-правовое регулирование и установление ответственности за нарушения [7].

Современные тенденции в области защиты информации характеризуются активным развитием технологий шифрования, внедрением искусственного интеллекта для обнаружения угроз, использованием биометрической аутентификации и развитием квантовой криптографии [8]. Особое внимание уделяется комплексным решениям по защите информации, включающим многофакторную аутентификацию, системы предотвращения утечек данных (DLP), централизованное управление безопасностью и резервное копирование.

В современных условиях особое значение приобретают программно-аппаратные средства защиты, такие как брандмауэры, IDS/IPS-системы, EDR-решения и технологии блокчейн. Криптографические методы остаются основным способом защиты передаваемых данных, обеспечивая конфиденциальность и целостность информации при передаче по каналам связи.

Важным аспектом защиты является организационная составляющая, включающая разработку политик информационной безопасности, проведение регулярных аудитов и обучение персонала. Эффективная система защиты должна учитывать как технические, так и человеческие факторы, поскольку зачастую именно ошибки пользователей становятся причиной успешных атак.

В заключение следует отметить, что эффективная защита информации в инфокоммуникационных сетях требует комплексного подхода, сочетающего технические, организационные и правовые меры. При этом необходимо постоянное совершенствование методов защиты в соответствии с развитием

технологий и появлением новых угроз. Только такой подход может обеспечить надежную защиту информации в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакурский М.В., Иванов В.В. Цифровые фильтры частотной выборки: монография. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 106 с.
2. Шакурский В.К., Шакурский М.В. Цифровой фильтр со смещаемой фазочастотной характеристикой: патент на полезную модель 113597 РФ, МПК G 06 F 17/14. – Опубл. 20.02.2012. – Бюл. № 5.
3. Шакурский В.К., Шакурский М.В. Цифровой фильтр с нулевой фазочастотной характеристикой: патент на полезную модель № 109619 U1 РФ, МПК H03H 9/00. – № 2011123825/08. – Опубл. 20.10.2011.
4. Шакурский М.В., Иванов В.В. Математическая модель цифровых фильтров, реализуемых методом частотной выборки // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 2(16). – С. 98-100.
5. Шакурский В.К., Шакурский М.В. Частотная неустойчивость и срыв автоколебаний в цифровых генераторах с нетипичной фазочастотной характеристикой // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 2. – С. 129-135.
6. Иванов В.В., Шакурский В.К. Генераторные фазовые и частотные преобразователи и модуляторы. – М.: Радио и связь, 2003. – 184 с.
7. Иванов В.В., Шакурский В.К. Анализ свойств управляемого генератора в режиме повышенной чувствительности // Электросвязь. – 2004. – № 7. – С. 43-45.
8. Иванов В.В., Шакурский В.К., Шакурский М.В. Моделирование виртуальных автоколебательных систем в режиме повышенной чувствительности с использованием цифровых фильтров // Школа университетской науки: парадигма развития.

INFORMATION SECURITY IN INFOTELECOMMUNICATION NETWORKS

Bukhner A.A.
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article examines information security in infocommunication networks, identifying key threats like unauthorized access, data interception, information modification, DoS attacks, and malware. Protection methods operate at three levels: technical, organizational, and legal. Modern trends include advanced encryption, AI-based threat detection, biometric authentication, and quantum cryptography. Effective protection requires an integrated approach combining all three levels to counter threats.

УДК 004.056

МЕТОДИКА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ ЦЕЛЕВОГО ФИШИНГА

Пугин В.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящих реалиях так называемые фишинговые атаки являются высоко эффективными, так как могут обходить классические средства защиты информации, особенно в тех информационных системах предприятий, где не продуманные действия субъектов информационных ношений могут напрямую влиять на разнообразные критически важные бизнес-процессы. Классические, даже высоко эшелонированные модели информационной безопасности (ИБ), построенные на многоуровневой защите, хотя и являются актуальными, однако часто оказываются недостаточно гибкими для оперативного реагирования, а также для интеграции в гетерогенные корпоративные ИТ-инфраструктуры [1].

В рамках конференции представляется доклад о разработанной авторской методике функциональной защиты от фишинга (ФЗФ), основанной не на классических архитектурных слоях, а на предложенных функциональных механизмах предотвращения, блокирования, контроля и реагирования на злоумышленную фишинговую активность.

Методика ФЗФ не фокусируется на уровне модели OSI (сетевой или прикладной), а именно на логике развития инцидента ИБ, а также соответствующей реакции на инцидент на каждом этапе: от момента доставки письма атакуемому субъекту, до анализа атаки и дальнейшего устранения возможных последствий. Применение такого подхода позволит учитывать реальные бизнес-процессы рассматриваемого предприятия, а также произвести гранулировку ролей пользователей с точностью до субъекта информационных отношений, а также четко определить необходимые технические условия для функционирования системы мониторинга и управления инцидентами (рис. 1).

Рис. 1. Методика защиты от целевого фишинга

Разработанная методика представляет из себя пять независимых друг от друга, но взаимосвязанных модулей, каждый из которых может быть внедрён в информационную систему предприятия как отдельно, так и в виде комплексного решения, обеспечивающего эшелонированную защиту систем и сетей предприятия от целевых фишинговых атак.

В рамках исследования проведено обоснование эффективности предложенной методики ФЗФ, для чего был проведен её сравнительный анализ с одной из наиболее применяемых в области ИБ четырёхуровневой эшелонированной схемой защиты от фишинга [2].

По результатам работы сделан вывод, что разработанная новая методика ФЗФ превосходит четырёхуровневую модель по нескольким параметрам, таким как адаптивность, автоматизация, реактивность и глубина контроля, что несомненно важно для современных предприятий, использующих распределённые, облачные и гибридные ИТ-решения. Используя данную методику можно строить гибкую, интегрируемую и обучаемую систему защиты от фишинга, опирающуюся не только на реальные сценарии атак, но и также поведенческие характеристики пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грашкин, С.В., Пугин В.В. Минимизация рисков использования искусственного интеллекта киберпреступниками [Текст] // Проблемы техники, технологий и телекоммуникаций: материалы XXVI Междунар. науч.-техн. конф. – Казань, 2024. – С. 434–435.

2. Коновалов, В..И. DMARC, SPF и DKIM в борьбе с фишингом [Текст] //СПб.: НИУ ИТМО, 2024. – 160 с.

METHODOLOGY FOR PROTECTING INFORMATION FROM TARGETED PHISHING

Pugin V.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper discusses current threats related to targeted phishing in industrial automated systems. It analyzes modern social engineering methods used to attack enterprises and develops and proposes a unique method for protecting information.

УДК 004.771

СИСТЕМА РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АТАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА ICMP

Голубничая Е.Ю.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В данной работе рассматриваются особенности реализации направленных на отказ в обслуживании атак с использованием протокола ICMP (Internet Control Message Protocol), который в настоящее время широко применяется при проведении мониторинга доступности сетевых устройств [1]. В частности, рассматриваются варианты реализации атаки ICMP-флуд, которая заключается в том, что атакующие узлы отправляют атакуемому узлу большой объем нелегитимного трафика. Для снижения последствий атаки ICMP-флуд необходимо ее как можно быстрее обнаружить и блокировать. Для оперативного обнаружения атаки с использованием сниффера Wireshark необходимо выполнять «ручной» мониторинг и анализ трафика, поскольку в этом случае не происходит автоматическое обнаружение и блокировка атаки. Гораздо большей эффективности позволяют достичь методы, позволяющие автоматически обнаружить атаку и заблокировать ее. К числу таких методов можно отнести фильтрацию трафика с таких утилит как iptables и Fail2Ban.

В рамках данной работы была развернута экспериментальная сеть, где рассматривается случай, когда клиент (Kubuntu Linux, IP-адрес «192.168.0.22») является атакующим узлом, а сервер атакуемым (РЕД ОС, IP-адрес «192.168.0.20»). Для обнаружения и фильтрации вредоносного трафика ICMP сервере с помощью утилиты iptables были созданы некоторые правила (Рис. 1).

Рис. 1. Просмотр созданных правил по фильтрации трафика ICMP

Рассмотрим более подробно правило «sudo iptables -A INPUT -p icmp --icmp-type echo-request -m limit --limit 1/s --limit-burst 5 -j ACCEPT», которое позволяет серверу блокировать высокоинтенсивный трафик ICMP, в частности, принимать не более одного ICMP-запроса типа «echo-request» в секунду, при этом кратковременно разрешая до 5 запросов, чтобы избежать резкого блокирования пользователей, например, при легитимном мониторинге. Для проверки работоспособности правила сначала выполним базовый ping от клиента к серверу, чтобы убедиться в том, что между ними есть связь (Рис. 2).

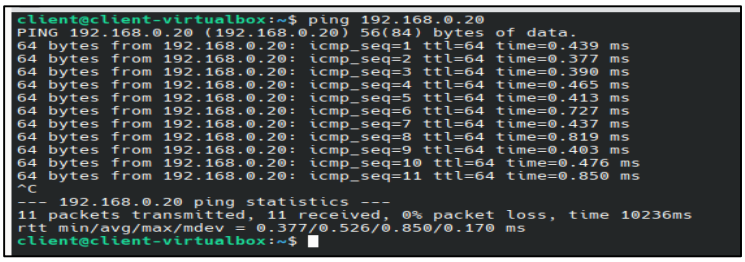


Рис. 2. Проверка связи клиента и сервера в локальной сети

Для проверки работоспособности созданного правила выполняем команду «ping -i 0.1 192.168.0.20», где флаг-i отвечает за частоту запросов (в данном случае 1 запрос раз в 0.1 секунду (т.е. 10 запросов в секунду)) (Рис. 3).

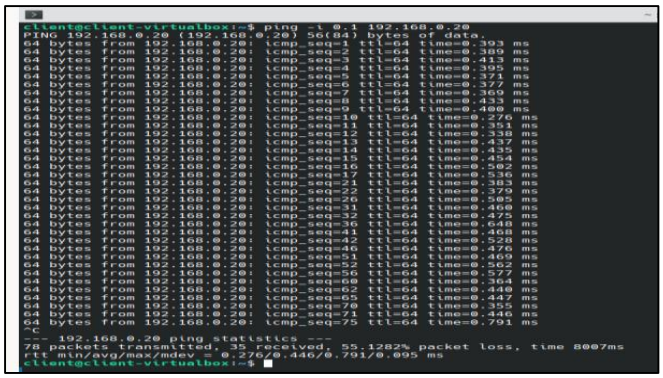


Рис. 3. Проверка связи клиента и сервера в локальной сети при интенсивности 10 эхо-запросов ICMP в секунду

Анализируя представленные на Рис. 3 результаты, наглядно видно, то, что часть отправленных запросов ICMP осталась без ответа, т.к. на 78 отправленных запросов было получено только 35 ответов, что вызвано блокировкой высокоинтенсивного трафика ICMP на сервере, согласно созданному ранее правилу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубничая Е.Ю., Денесюк Н.И. Мониторинг сети с использованием протокола ICMP // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2024. Т. 15. № 2. С. 24-31.

INFORMATION SECURITY INCIDENT RESPONSE SYSTEM FOR ICMP ATTACKS

Golubnichaya E.Yu.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper discusses the proposed method for detecting and blocking illegitimate anomalies in ICMP traffic using tools such as iptables and Fail2Ban.

УДК 004.056

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ: СТРАТЕГИИ, ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЙ СУВЕРЕНИТЕТ

Галеев З.З., Кабиров А.А., Дерябин Н.В., Даукаева Д.И.
(Уфимский университет науки и технологий)

В контексте ускоренного развития киберугроз, организации сталкиваются с необходимостью формирования интегрированных систем обеспечения информационной безопасности. Это требует не только технических решений, но и стратегического подхода, охватывающего превентивные меры, оперативное реагирование и долгосрочное совершенствование инфраструктуры безопасности. В данной статье рассматриваются ключевые направления, способствующие минимизации рисков и обеспечению непрерывности бизнес-процессов.

Трифазная модель киберзащиты базируется на трех взаимосвязанных компонентах: применение межсетевых экранов, криптографических средств и VPN-технологий; интеграция систем управления событиями и информацией безопасности (SIEM) для мониторинга логов и выявления аномалий; разработка процедур реагирования на инциденты (плейбуков), предусматривающих участие ИТ-специалистов. Примером эффективного применения такой модели является ситуация с DDoS-атакой на Wildberries в 2022 году, когда использование CDN-технологий позволило восстановить доступ к ресурсам менее чем за четыре часа.

В контексте государственных и корпоративных структур всё более актуальной становится концепция цифрового суверенитета, включающая локализацию данных, разработку национальных стандартов и многоуровневую аутентификацию, в том числе с использованием биометрических данных и аппаратных токенов в процессах электронного документооборота.

Киберугрозы оказывают влияние не только на государственные структуры, но и на сферу цифрового контента. Среди современных методов защиты можно выделить динамическое водяное кодирование, поведенческий анализ с использованием искусственного интеллекта и региональное лицензирование контента. Согласно статистическим данным, внедрение блокчейн-технологий в 2024 году способствовало сокращению объема пиратского трафика на 37%.

Организации переходят к гибридным моделям защиты, комбинирующим различные архитектурные подходы, такие как гибридные топологии, сегментирование VLAN и SD-WAN с интегрированными системами предотвращения вторжений (IPS), что на примере решений Cisco Viptela демонстрирует свою эффективность. Так, в 2023 году банк ВТБ успешно нейтрализовал атаку с пропускной способностью 350 Гбит/с.

Обработка данных и защита инфраструктуры неразрывно связаны между собой. Среди современных инструментов обработки информации выделяются нейросетевой рерайтинг, контекстное обогащение данных и применение машинного обучения для усовершенствования алгоритмов защиты.

Подготовка кадров является ключевым фактором в создании эффективной системы информационной безопасности. Регулярное проведение тренингов, сертификаций и участие в киберучениях способствуют поддержанию высокого уровня профессионализма и готовности к противодействию угрозам. Нормативно-правовое регулирование устанавливает правовую основу для защиты данных и определяет ответственность за их утечку. Применение инновационных технологий, включая анализ больших данных и машинное обучение, способствует постоянному усовершенствованию мер кибербезопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Sabillon, J. Serra-Ruiz, V. Cavaller and J. Cano, "A Comprehensive Cybersecurity Audit Model to Improve Cybersecurity Assurance: The CyberSecurity Audit Model (CSAM)," 2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), Quito, Ecuador, 2017, pp. 253-259, doi: 10.1109/INCISCOS.2017.20.

2. R. Sedar, C. Kalalas, F. Vázquez-Gallego, L. Alonso and J. Alonso-Zarate, "A Comprehensive Survey of V2X Cybersecurity Mechanisms and Future Research Paths," in IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 4, pp. 325-391, 2023, doi: 10.1109/OJCOMS.2023.3239115.

COMPREHENSIVE APPROACH TO CYBERSECURITY: STRATEGIES, TECHNOLOGIES, AND DIGITAL SOVEREIGNTY

Galeev Z.Z., Kabirov A.A., Deryabin N.V., Daykaeva D.I.
(Ufa University of Science and Technology)

This work discusses current trends in the field of cybersecurity. Special attention is paid to the tri-phase model of protection, the principles of digital sovereignty, innovative methods of combating piracy, network security architecture, and tools for post-processing content. Examples from practice and statistical data are provided to confirm the effectiveness of the proposed solutions. It is concluded that an integrated approach is necessary, which includes technologies, personnel training, and regulatory regulation.

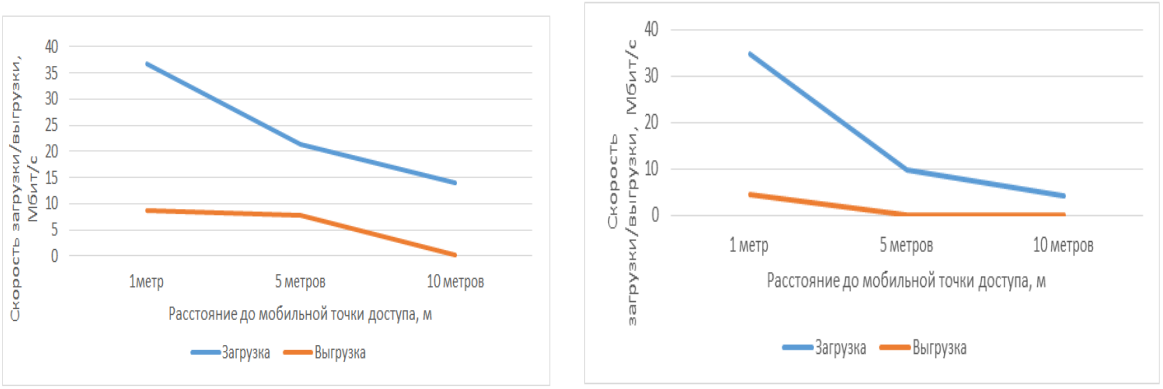
УДК 621.391.812

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ТРАФИКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТУПА К СЕТИ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНУЮ ТОЧКУ ДОСТУПА

Голубничая Е.Ю., Потехин В.С., Хорьков А.О.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время с учетом высокой мобильности пользователей и росте числа устройств (смартфоны, планшеты, ноутбуки) распространенным вариантом стала организация доступа в сеть Интернет через мобильную точку доступа с применением технологий сотовой связи (4G/5G). Это особенно значимо в ситуациях, когда проводные подключения недоступны и отсутствует возможность подключения к беспроводной сети, организованной посредством сети проводного провайдера. Однако качество такого альтернативного способа подключения остаётся нестабильным [1].

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) пользовательского трафика при доступе в сеть Интернет через мобильную точку доступа. На Рис. 2 представлены результаты измерения с помощью приложения «SpeedTrafik» скорости соединения в зависимости от расстояния до мобильного телефона (на котором включен режим точки доступа) и количества подключенных устройств.

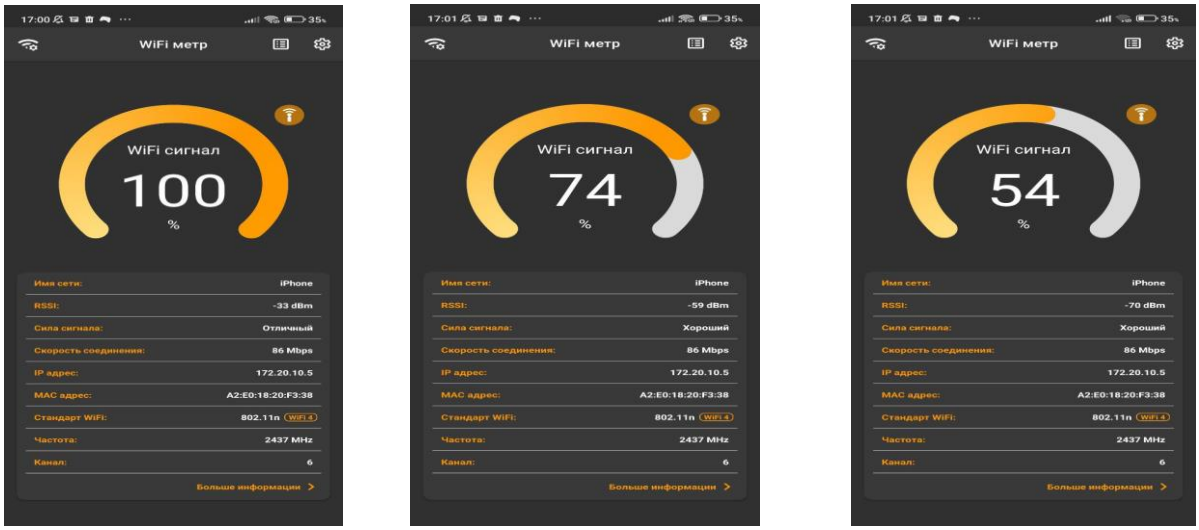


(а) (б)

Рис. 1. Зависимость скорости соединения от расстояния между подключенным устройством и мобильной точкой доступа: (а) при одном подключенном устройстве; (б) при двух подключённых устройствах

Полученные в ходе экспериментального исследования результаты демонстрируют четкую тенденцию к снижению скорости соединения с увеличением расстояния до мобильной точки доступа, а также количества подключенных устройств к одной мобильной точке доступа. Указанные факторы важно учитывать при планировании беспроводных сетей с целью обеспечения стабильного и качественного подключения.

Для оценки уровня сигнала RSSI (Received Signal Strength Indicator) использовалось приложение «WiFi метр» (Рис. 2).



а) б) в)

Рис. 2. Результаты исследования зависимости уровня сигнала RSSI от расстояния до мобильной точки доступа: (а) 1 метр; (б) 5 метров; (в) 10 метров

Анализируя представленные на Рис. 2 результаты измерений наглядно видно, что значения RSSI значительно снижаются с увеличением расстояния до мобильной точки доступа. Наиболее стабильное и качественное соединение наблюдается на расстоянии 1 метр, что соответствует уровню сигнала -33 дБм. На расстоянии 5 метров уровень сигнала снижается до уровня -59 дБм, но все еще остается на приемлемом уровне для большинства задач. На расстоянии 10 метров сигнал ослабевает до -70 дБм, что может приводить к заметному ухудшению качества соединения, увеличению задержек и возможным потерям пакетов данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донченко А.А., Легков К.Е. Методы оценки качества услуг, предоставляемых сетями беспроводного широкополосного доступа // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2009. № S2. С. 217-219.

ANALYSIS OF USER TRAFFIC SERVICE QUALITY INDICATORS WHEN ORGANIZING NETWORK ACCESS THROUGH A MOBILE ACCESS POINT

Golubnichaya E.Yu., Potekhin V.S., Khor'kov A.O.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of a study of the quality of service indicators for user traffic when accessing the Internet through a mobile access point.

УДК 004.056.5

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ И КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА ИНЦИДЕНТОВ

Буранова М.А., Томм А.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для современных инфокоммуникационных сетей характерна высокая сложность и объем обрабатываемых данных, что требует внедрения высоко интеллектуальных методов мониторинга для своевременного выявления инцидентов безопасности. Как известно информационная безопасность (ИБ) является весьма важным фактором устойчивого функционирования и развития современного цифрового пространства. Это связано в том числе с интенсивным ростом угроз, связанных с многочисленными факторами. При этом очевидно, что традиционно используемые методы защиты информации не всегда являются недостаточно надежными [1, 2].

Как известно традиционно используются реактивные подходы, которые в первую очередь основаны на фиксированных правилах и сигнатурах. Следует отметить, что данные подходы не обеспечивают требуемый уровень эффективности защиты, например, в отношении неизвестных угроз. Это приводит к тому, что становится весьма актуальной задача, связанная с интеграцией методов обнаружения аномалий и корреляции событий для реализации так называемые проактивного мониторинга.

Насущная необходимость борьбы с киберугрозами требует внедрения таких подходов, которые способны обнаружить аномалии в поведении пользователей систем. Последние исследования показывают, что это наиболее перспективное направление развития систем мониторинга угроз информационной безопасности. Для этого предлагается использовать статистические, поведенческие и машинно-обучающие алгоритмы. Как известно, основным элементом систем подобного типа является блок корреляции событий. Кроме того, требуется учитывать тот факт, что современные атаки являются, как правило, комплексными. Отсюда возникает задача установления взаимосвязей между разнородных событий из сетевых, системных и прикладных журналов.

Интеграция этих подходов позволяет построить многоуровневую систему мониторинга. Это дает возможность не только ускорить процесс обнаружения инцидентов, но и прогнозировать потенциальные угрозы до их проявления. Ключевыми элементами такой системы могут быть платформыа Security Information and Event Management (SIEM) и/или система аналитики поведения пользователей и сущностей – UeBA (User and Entity Behavior Analytics) дополненные модулями машинного обучения.

Процесс реализации интегрированной системы включает несколько этапов: формирование базы нормального профиля поведения пользователей и

сервисов, настройку механизмов сбора, нормализации и корреляции событий, обучение моделей машинного обучения на исторических данных, тестирование и оптимизацию правил корреляции для минимизации ложных тревог.

Внедрение интегрированных методов обнаружения аномалий и корреляции событий способствует переходу от реактивного к проактивному управлению информационной безопасностью.

При этом необходимо применение технологий искусственного интеллекта (ИИ), которое открывает новые перспективы в области обеспечения безопасности данных [3]. Насущная необходимость борьбы с киберугрозами путем переоценки традиционных методов безопасности и аргументируется необходимость высокой степени автоматизации и внедрения искусственного интеллекта и машинного обучения. В тоже время, следует отметить, что новые технологии выявили уязвимости систем. А широкое использование ИИ усугубило атаки, что привело к переоценке традиционных и современных средств защиты. Повышает роль ИИ в кибербезопасности его способность управлять огромными наборами данных, адаптироваться в режиме реального времени и быстро обнаруживать риски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буранова М.А. Использование методов машинного обучения в задачах кластеризации в области информационной безопасности / М.А. Буранова, В.Г. Карташевский / Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи. Материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 86-87.
2. Буранова М.А. Анализ моделей искусственного интеллекта для корреляции событий безопасности / М.А. Буранова, Т.В. Корноухова, И.В. Дмитриева / Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий" ("РЭУС-ИТ 2024"). Москва, 2024. С. 145-150.
3. Дубровский Н.А. Применение искусственного интеллекта в области информационной безопасности / Н.А. Дубровский / Современные информационные технологии и информационная безопасность. Сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции. Курск, 2024

INTEGRATION OF ANOMALY DETECTION AND CORRELATION METHODS FOR PROACTIVE INCIDENT MONITORING

Buranova M.A., Tomm A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

Implementing integrated anomaly detection and event correlation methods facilitates the transition from reactive to proactive information security management, reduces the likelihood of critical incidents, and improves the overall level of cyber resilience of the organization.

УДК 004.032.26

КВАНТОВЫЙ КРИПТОАНАЛИЗ ЛЕГКОВЕСНЫХ ШИФРОВ ДЛЯ IOT

Соболева В.Н., Богатина В.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Развитие концепции Интернета вещей (IoT) стало ключевым направлением цифровой трансформации последних лет. Количество подключённых устройств стремительно растёт, и всё чаще они обмениваются данными без участия человека. При этом защита передаваемой информации остаётся одной из главных задач. Для встроенных систем, обладающих ограниченными вычислительными ресурсами, особенно важны криптографические решения, сочетающие надёжность и энергоэффективность. К таким решениям относятся легковесные алгоритмы шифрования, в частности ASCON и PRESENT. Они разрабатывались специально для устройств с малой производительностью и долгое время считались достаточно безопасными. Однако появление квантовых вычислений поставило под сомнение устойчивость многих классических шифров. Квантовые методы, включая алгоритм Гровера, позволяют существенно ускорить процесс подбора ключей, что приводит к фактическому уменьшению криптографической стойкости. В рамках проведённого анализа была рассмотрена степень снижения защищённости популярных легковесных алгоритмов под воздействием квантового криптоанализа. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Снижение стойкости легковесных шифров

Алгоритм	Длина ключа	Квантовая стойкость
PRESENT-80	80 бит	40 бит
PRESENT-128	128 бит	64 бит
ASCON-128	128 бит	64 бит

Как видно из представленных данных, все рассмотренные алгоритмы теряют часть криптографической прочности при использовании квантовых методов взлома. Наиболее уязвимым оказался шифр PRESENT-80, чей уровень защиты снижается до практически неприемлемого значения. С учётом полученных результатов можно выделить несколько направлений для дальнейшего развития систем защиты в IoT-среде: постепенный отказ от алгоритмов с ключами короче 128 бит; внедрение гибридных схем, сочетающих классические и постквантовые методы шифрования; использование ключей длиной не менее 256 бит при создании новых решений; поддержка разработки отечественных легковесных алгоритмов, устойчивых к квантовым атакам. Реализация этих рекомендаций позволит повысить уровень безопасности устройств Интернета вещей и обеспечить устойчивость инфраструктуры к угрозам, которые принесёт с собой развитие квантовых вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабанин А.А., Михайлов А.В. Безопасность интернета вещей: вызовы и решения // Информационно-управляющие системы. 2020. № 4. С. 45–53.

2. Гровер Л.К. Быстрый квантовый механический алгоритм для поиска в базе данных // Труды 28-й ежегодной ACM конференции по теории вычислений. 1996. С. 212–219.

3. Dobraunig C. et al. ASCON v1.2: Lightweight Authenticated Encryption and Hashing // Journal of Cryptology. 2021. Vol. 34. P. 33.

4. Bogdanov A. et al. PRESENT: An Ultra-Lightweight Block Cipher // Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES 2007). Springer, 2007. P. 450–466.

QUANTUM CRYPTANALYSIS OF LIGHTWEIGHT CIPHERS FOR IOT

Soboleva V.N., Bogatina V.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper analyzes the impact of quantum computing on the security of lightweight cryptographic algorithms used in Internet of Things (IoT) devices. The effect of Grover's algorithm on ASCON and PRESENT ciphers is examined, and the resulting reduction in key strength is discussed. Practical recommendations for transitioning to post-quantum solutions are provided. The proposed approach contributes to the development of secure IoT infrastructures in the era of quantum technologies.

УДК 004.056

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Мухамадиев А.А., Ясовеев В.Х.
(Уфимский университет науки и технологий)

Защита измерительной информации является актуальной задачей в условиях увеличения несанкционированных на нее воздействий. На сегодняшний день наибольшее распространение получили программные методы защиты информации, которые включают антивирусное программное обеспечение, системы разграничения доступа, средства криптографии и DLP-системы. Однако, в связи с быстрым развитием технологий искусственного интеллекта, возникает сомнение в возможности обеспечения соответствующего уровня противодействия данным угрозам только на основе программных методов защиты информации. В связи с вышеизложенным, авторами предлагается использовать аппаратные методы защиты информации, реализованные на основе акустооптических коммутаторов (АОК).

АОК представляют собой эффективный инструмент для организации высоконадежных линий связи, обладающих высокими показателями безопасности. Их применение обусловлено возможностью быстро изменять направление лазерного луча и эффективно управлять потоками информации. Одним из ключевых преимуществ АОК является их способность реализовывать протоколы шифрования непосредственно на уровне физического канала передачи данных. Эта особенность позволяет значительно повысить безопасность коммуникационной инфраструктуры и защитить передачу чувствительной информации от несанкционированного доступа.

Авторами разработаны оригинальные конструкции акустооптических коммутаторов [1, 2]. Используя свойства акустооптических коммутаторов, можно реализовать эффективные методы шифрования, основанные на случайном изменении маршрутов прохождения данных.

1. Пространственное разделение каналов. Пространственно-разделённая схема предполагает создание множества параллельных путей передачи данных. Каждый путь оснащён отдельным элементом, управляющим направлением распространения лазерного луча. Информация распределяется случайным образом среди этих путей, делая перехват данных крайне затруднительным.

2. Временное уплотнение каналов. Метод временного уплотнения подразумевает распределение информации путём быстрого последовательного включения разных каналов. За счёт высоких скоростей коммутации обеспечивается минимальное временное окно для перехвата данных.

3. Протокол Диффи-Хеллмана на основе акустооптических коммутаторов. Классический криптографический протокол Диффи-Хеллмана адаптируется следующим образом: каждая сторона генерирует ключ шифрования, используя уникальные параметры акустооптического модуля. Затем стороны обмениваются информацией о направлении распространения лазерного луча,

восстанавливая общий секретный ключ. Этот подход обладает повышенной устойчивостью к криптоанализу и эффективностью при защите конфиденциальных данных [3-5].

Применение акустооптических коммутаторов открывает широкие перспективы для совершенствования систем шифрования и повышения уровня информационной безопасности. Эти устройства позволяют создавать быстрые, гибкие и надежные каналы передачи данных, способные противостоять современным угрозам

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 130418 РФ МПК7 G02F 1/335 Акустооптический преобразователь для коммутации волоконно-оптических линий связи распределенных информационно-измерительных систем / Ураксеев М.А., Давыдов А.И., Мухамадиев А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Уфимск. гос. ун-т. экономики и сервиса. – 2013100605/28; заявл. 09.01.2013; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.
2. Пат. 134674 РФ МПК7 G02F 1/335 Акустооптический преобразователь для коммутации волоконно-оптических линий связи / Давыдов А.И., Мухамадиев А.А., Ураксеев М.А. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Уфимск. гос. ун-т. экономики и сервиса. – 2013131867/28; заявл. 09.07.2013; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32.
3. Васильев В.Г. Особенности применения акустооптических коммутаторов в информационных технологиях / В.Г. Васильев, С.П. Иванов // Информационная безопасность. – 2020. – № 3. – С. 45–51.
4. Тихонов Д.Б. Анализ методов шифрования на основе акустооптических устройств / Д.Б. Тихонов, Л.А. Петрова // Труды института информатики и вычислительных наук РАН. – 2021. – Т. 15. – № 2. – С. 89–97.
5. Алексеев А.В. Эффективность применения акустооптических коммутаторов в системах информационной безопасности / А.В. Алексеев, Я.К. Колесников // Безопасность бизнеса и финансов. – 2022. – № 1. – С. 32–38.

INFORMATION PROTECTION BASED ON AN ACOUSTO-OPTIC SWITCH IN INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS

Mukhamadiev A.A., Yasoveev V.Kh.
(Ufa University of Science and Technology)

Abstract. Protecting measurement information is a pressing issue in the face of increasing unauthorized attacks. Currently, software-based information security methods are the most widely used, including antivirus software, access control systems, cryptography, and DLP systems. However, due to the rapid development of artificial intelligence technologies, it is questionable whether software-based information security methods alone can adequately counter these threats. Therefore, the authors propose the use of hardware-based information security methods based on acousto-optic switches.

УДК 004.771

АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ АТАК С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОУРОВНЕВОГО HONEYPOT-СЕРВЕРА

Голубничая Е.Ю., Рагузин А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Рост количества подключённых к сети устройств и усложнение сервисной инфраструктуры приводят к росту различных кибератак. Традиционные методы защиты, основанные на сигнатурном детектировании (IDS (Intrusion Detection System)/IPS (Intrusion Prevention System)) и статических правилах межсетевых экранов, хорошо справляются с известными атаками, но оказываются малоэффективными против новых техник злоумышленников.Низкоуровневые honeypot-системы, эмулируя SSH (Secure Shell)/Telnet-серверы и базовые сетевые службы, дают возможность получать значимый поток событий при относительно низком риске для инфраструктуры [1].

В рамках исследования был развёрнут изолированный стенд для тестирования honeypot-системы. В качестве базовой платформы была выбрана операционная система РЕД ОС 8, при этом виртуальная машина была развёрнута с использованием гипервизора Hyper-V. Был создан системный пользователь с именем «honeypot» без пароля и с ограниченной оболочкой, а также была подготовлена директория «/opt/honeypot», назначенная его домашним каталогом. Таким образом, была сформирована изолированная рабочая среда, в пределах которой запускался honeypot, что минимизировало риски для основной системы. В подготовленную директорию был клонирован репозиторий Cowrie с использованием git, в результате чего была создана папка «cowrie» с исходными файлами программы. Внутри этой папки было развёрнуто виртуальное окружение «cowrie-env» и произведена установка всех необходимых Python-зависимостей, что позволило изолировать работу honeypot от системных библиотек и исключить конфликты версий. В рамках настройки системы также были добавлены правила «iptables», в частности для перенаправления трафика с порта 22 на 2222 (sudo iptables -t nat -A PREROUTING -p tcp -dport 22 -j REDIRECT --to-port 2222), что позволило злоумышленнику воспринимать honeypot как реальный SSH-сервис.

На заключительном этапе была проведена проверка работоспособности системы. Были запущены сервисы Cowrie, что обеспечило старт в изолированной среде Python-виртуального окружения, а для мониторинга состояния в реальном времени был активирован журнал «cowrie.log», на экране которого отобразились системные сообщения о загрузке модулей, генерации SSH-ключей (RSA (Rivest-Shamir-Adleman) и ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm)), прослушивании порта 2222 и успешной готовности к приёму подключений. Обозначенные факты подтверждают корректную настройку и функционирование honeypot-сервера перед началом сбора данных об атаках (Рис. 1).

Рис. 1. Запуск и инициализация сервера Cowrie с мониторингом логов

Эксперимент было решено провести внутри одной сети. Выбор примера со «злоумышленником в локальной сети» полезен, потому что в реальной жизни часто угроза приходит не извне, а изнутри – например, от сотрудника, студента или гостя, который подключился к Wi-Fi. Как показано на Рис. 2 после установления SSH-соединения с IP-адреса 192.168.1.148 злоумышленник выполнил стандартную последовательность команд разведки («ls -la» – анализ содержимого корневой директории; «uname -a» – определение версии операционной системы и архитектуры; «cat /etc/passwd» – попытка получения списка пользователей системы).

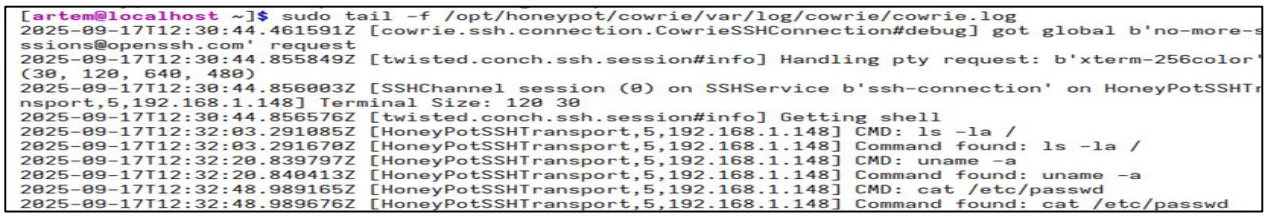


Рис. 2. Выполняемые команды злоумышленника

Анализ собранных фактов в процессе работы honeypot-системы помогает быстро адаптировать правила IPS/IDS, обновить сигнатуры и подготовить контрмеры. Таким образом, honeypot-система – это не просто «приманка», а полноценный инструмент кибербезопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев Д.А., Овасапян Т.Д., Иванов Д.В. Обнаружение honeypot-систем на основе анализа функционала имитируемых сервисов // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. 2025. № 34. С. 170-171.

ANALYSIS OF NETWORK ATTACKS USING A LOW-LEVEL HONEYPOT SERVER

Golubnichaya E.Yu., Raguzin A.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper examines the results of a study on the analysis of possible network attacks in a local network, carried out on the basis of a honeypot server.

УДК 004.771

ОБНАРУЖЕНИЕ БРУТФОРС-АТАК НА SSH-СЕРВЕР МЕТОДАМИ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Голубничая Е.Ю., Абраменко А.А., Белокопытов А.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время наряду с активно развивающейся отраслью информационных технологий, все большую актуальность получают вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности, в том числе защиты сети от несанкционированного доступа [1]. В рамках данной работы на базе эксперементальной сети проводятся исследования связанные с возможностью обнаружения брутфорс-атак на SSH-сервер (Secure shell), путем анализа трафика, захваченного сниффером Wireshark. Указанные атаки могут осуществляться как с целью получения доступа к серверу, так и с целью реализации DDoS-атак большим объемом нелегитимного трафика. На Рис. 1 представлена схема экспериментальной сети, включающая сервер с настроенным SSH-подключением и атакующее устройство, в роли которого выступает клиент с операционной системой Kali Linux.

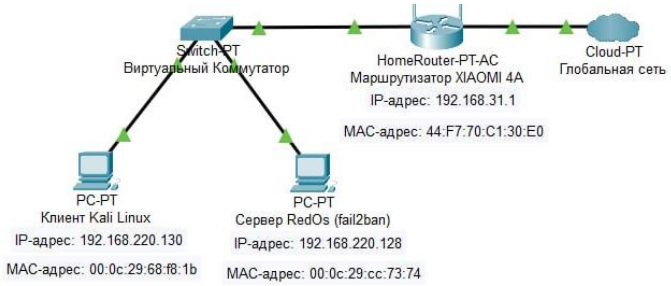


Рис. 1. Схема экспериментальной сети

В исследуемом сценарии атакующий узел (клиент) пытается подключиться к SSH-серверу путем подбора пароля. На Рис.2 представлен скриншот захваченного сниффером Wireshark дампа трафика при реализации брутфорс-атаки на SSH-сервер.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Lengtl	Info
1	0.000000000	192.168.220.130	192.168.220.128	SSHv2	100	Client: Protocol (SSH-2.0-OpenSSH_9.9p1 Debian-3)
2	0.000014090	192.168.220.128	192.168.220.130	TCP	68	22 → 57432 [ACK] Seq=1 Ack=33 Win=509 Len=0 TSval=2091059917 TSecr=373801933
3	0.009800013	192.168.220.128	192.168.220.130	SSHv2	89	Server: Protocol (SSH-2.0-OpenSSH_9.9)
4	0.010490762	192.168.220.130	192.168.220.128	TCP	68	57432 → 22 [ACK] Seq=33 Ack=22 Win=502 Len=0 TSval=373801944 TSecr=2091059927
5	0.011774515	192.168.220.130	192.168.220.128	TCP	1516	57432 → 22 [ACK] Seq=33 Ack=22 Win=502 Len=1448 TSval=373801945 TSecr=2091059927 [TCP PDU reassembled in 6]
6	0.011824939	192.168.220.130	192.168.220.128	SSHv2	188	Client: Key Exchange Init
7	0.011841867	192.168.220.128	192.168.220.130	TCP	68	22 → 57432 [ACK] Seq=22 Ack=1601 Win=524 Len=0 TSval=2091059929 TSecr=373801945
8	0.013925431	192.168.220.128	192.168.220.130	SSHv2	1044	Server: Key Exchange Init
9	0.015737038	192.168.220.130	192.168.220.128	SSHv2	116	Client: Elliptic Curve Diffie-Hellman Key Exchange Init
10	0.019935491	192.168.220.128	192.168.220.130	SSHv2	560	Server: Elliptic Curve Diffie-Hellman Key Exchange Reply, New Keys, Encrypted packet (len=284)
11	3.725214069	192.168.220.130	192.168.220.128	TCP	152	[TCP ACKed unseen segment] [TCP Previous segment not captured] 57432 → 22 [PSH, ACK] Seq=1845 Ack=1830 Win=490 Len=84 TSval=373805659…
12	7.704303322	192.168.220.128	192.168.220.130	SSHv2	152	Server: [TCP ACKed unseen segment] [TCP Previous segment not captured] , Encrypted packet (len=84)
13	9.811510851	192.168.220.130	192.168.220.128	TCP	216	57432 → 22 [PSH, ACK] Seq=1929 Ack=1914 Win=490 Len=148 TSval=373811745 TSecr=2091067621
14	11.801240432	192.168.220.128	192.168.220.130	SSHv2	152	Server: Encrypted packet (len=84)
15	14.049221001	192.168.220.130	192.168.220.128	TCP	216	57432 → 22 [PSH, ACK] Seq=2077 Ack=1998 Win=490 Len=148 TSval=373815982 TSecr=2091071718
16	16.038967655	192.168.220.128	192.168.220.130	SSHv2	152	Server: Encrypted packet (len=84)
17	17.319351804	192.168.220.128	192.168.220.130	ICMP	104	Destination unreachable (Port unreachable)

Рис. 2. Трафик при реализации брутфорс-атаки на SSH-сервер

Как видно на Рис. 2 процесс установки соединения начинается стандартно, но после нескольких попыток аутентификации сервер прекращает отвечать на запросы, а в конце мы видим прямое свидетельство блокировки – пакет «Destination unreachable». Захваченные в рамках анализируемого сеанса связи пакеты 1-3, 6- 8, 9- 10 это классические типы пакетов в рамках установки безопасного соединения по протоколу SSH, после которого начинается процесс аутентификации пользователя. Именно на этом этапе можно обнаружить попытки подбора пароля.

Пакет 11 – первая попытка подбора пароля: клиент отправляет на сервер зашифрованный запрос аутентификации по публичному ключу, который на сервере отсутствует или не совпадает. Пакет 12: сервер отвечает пакетом «FAILURE», информирующим клиента о том, что аутентификация не удалась.

Пакет 13 – вторая попытка подбора пароля. Пакет 14 – второй отказ: сервер снова отвечает отказом.

Пакет 15 – клиент предпринимает третью и последнюю попытку подбора пароля. Пакет 16: сервер в третий раз сообщает о неудаче, поскольку на сервере активируется fail2ban (параметр «maxretry» равен 3) после анализа логов.

Пакеты 2, 4, 5, 7: это служебные TCP-пакеты (ACK), которые подтверждают получение данных. Они не несут полезной нагрузки, но критичны для поддержания соединения.

Пакет 17: это ключевой пакет, доказывающий блокировку. Оно означает, что фаервол сервера получил новый пакет на порт 22 от заблокированного IP-адреса, но немедленно его отбросил и в ответ отправил ICMP-уведомление о том, что этот порт теперь для него «недостижим».

Анализируемый дамп трафика наглядно демонстрирует не только попытки совершения инцидентов информационной безопасности, но и работу системы активной защиты сервера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пилькевич П.В., Луцышен В.И. Обнаружение брутфорс-атак в протоколе удалённого доступа SSH методами анализа сетевого трафика // Материалы XXII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова «Информатика: проблемы, методы, технологии», под редакцией Д.Н. Борисова. Воронеж, 2022. С. 714-718.

DETECTING BRUTEFORCE ATTACKS ON AN SSH SERVER USING NETWORK TRAFFIC ANALYSIS

Golubnichaya E.Yu., Abramenko A.A., Belokopytov A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of a study to determine the signature of a brute-force attack on an SSH server by analyzing a section of traffic captured by the Wireshark sniffer.

УДК 004.942

АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Буранова М.А., Ушаков В.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одной из наиболее актуальных угроз в инфокоммуникационных системах является распределенная атака «отказ в обслуживании» (DDoS) [1]. Как известно, инфокоммуникационные системы являются неотъемлемой частью инфраструктуры практически любой организации. Процессы глобальной цифровизации создают условия, при которых возникает зависимость критически важной инфраструктуры от систем, обеспечивающих автоматизацию и управление. При этом системы такого типа строятся на базе инфокоммуникационной инфраструктуры, что приводит к необходимости поиска новых подходов к защите от DDoS-атак. Кроме этого, большое влияние на ситуацию оказывает увеличивающаяся частота атак данного типа, что требует модернизации имеющихся и разработки новых механизмов защиты в отношении инфокоммуникационной инфраструктуры [2-3].

Решение данной задачи возможно с использованием механизмов, основанных на мониторинге сетевого трафика в режиме реального времени, которые позволяют обеспечить оперативный контроль динамики входящего трафика и оперативное выявление аномалий. Для реализации предложен программный комплекс, включающий классификацию пакетов по типам (TCP, UDP, ICMP), визуализацию временных рядов и первичное обнаружение признаков DDoS-атак с использованием порогового критерия. Для генерации, анализа и модификации сетевых пакетов может предлагается библиотека Scapy, а в качестве среды разработки Python версии 3.x.

Методика проведения эксперимента включает захват и классификацию пакетов, поступающих на сетевой интерфейс, установку метки времени для каждого пакета, последующий анализ скользящим временным окном на основе меток времени.

В этом анализе выполняются следующие операции:

- Удаление устаревших событий.
- Фиксация числа пакетов определенного типа в единицу времени.
- Определение структуры трафика в текущем временном окне, диаграммы распределения числа пакетов определенного типа.
- Формирование сигнала тревоги в случае превышения суммарным количеством пакетов в окне порогового значения.

В результате формируются три временных ряда для каждого типа протокола (TCP, UDP, ICMP), которые постоянно обновляются в режиме реального времени. На основе этих данных генерируется текстовая сводка, включающая как абсолютные значения, так и относительные доли каждого типа пакетов. Для наглядного представления информации приводится график, на

котором демонстрируется динамика трафика TCP, UDP и ICMP в скользящем окне. Пример такого графика представлен на рисунке 1.

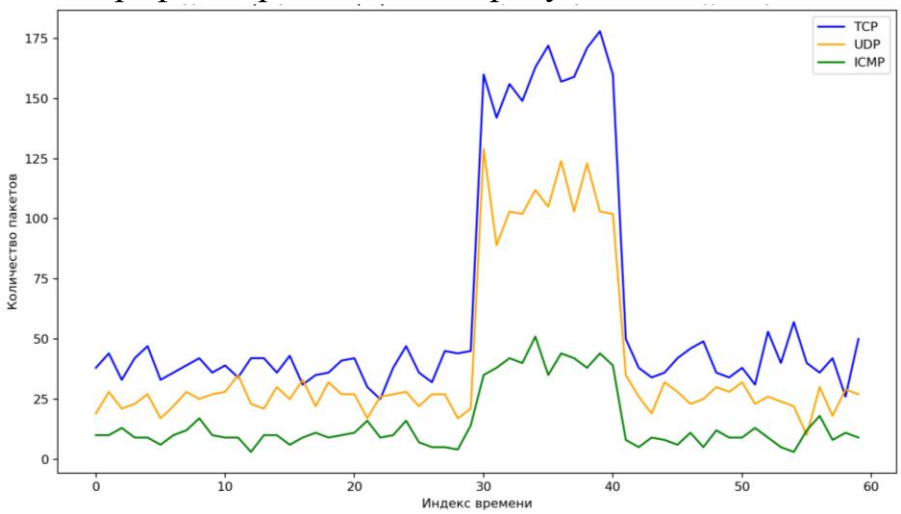


Рис. 1. Динамика трафика TCP, UDP и ICMP в скользящем окне

Пороговый метод детекции DDoS-атак требует предварительной калибровки под особенности конкретной сети для точной настройки системы и минимизации ложных срабатываний.

Данный подход может служить основой для внедрения более сложных эвристик и методов машинного обучения для обнаружения DDoS-атак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bawany, N.Z., Shamsi, J.A. & Salah, K. DDoS Attack Detection and Mitigation Using SDN: Methods, Practices, and Solutions / Bawany, N.Z., Shamsi, J.A. & Salah, K. / Arab J Sci Eng 42, 425–441 (2017). https://doi.org/10.1007/s13369-017-2414-5.

2. Singh J., Behal S. Detection and mitigation of DDoS attacks in SDN: A comprehensive review, research challenges and future directions / J. Singh , S. Behal. Computer Science Review,Volume 37, 2020, P. 100279.

3. Буранова М.А. Анализ моделей искусственного интеллекта для корреляции событий безопасности / М.А. Буранова, Т.В. Корноухова, И.В. Дмитриева / Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий" ("РЭУС-ИТ 2024"). Москва, 2024. С. 145-150.

ANALYSIS OF NETWORK TRAFFIC ANOMALIES USING A SOFTWARE PACKAGE

Buranova M.A., Ushakov V.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

The paper proposes an approach based on the implementation of mechanisms for monitoring network traffic in real time in order to ensure operational control of incoming traffic dynamics and prompt detection of anomalies.

УДК 004.771

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FAIL2BAN ДЛЯ ЗАЩИТЫ SSH-СЕРВЕРА ОТ ПОДБОРА ПАРОЛЯ

Голубничая Е.Ю., Абраменко А.А., Белокопытов А.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время для удаленного подключения к серверам широко применяется защищенный протокол SSH (Secure shell). В процессе организации SSH-подключения создается безопасное соединение между SSH-клиентом и SSH-сервером [1]. При этом непосредственно перед самим процессом доступа к серверу, клиенту необходимо пройти аутентификацию. В числе наиболее распространенных методов аутентификации широкое применение получил метод аутентификации с помощью пароля, который предполагает ввод клиентом логина и пароля после инициации соединения. Посредством брутфорс-атак злоумышленники могут реализовывать DDoS-атаки связанные с загрузкой сервера нелегитимным трафиком в процессе подбора паролей. В рамках данной работы на базе экспериментальной сети (Рис. 1) с применением на сервере утилиты fail2ban была реализована блокировка брутфорс-атак на SSH-сервер.

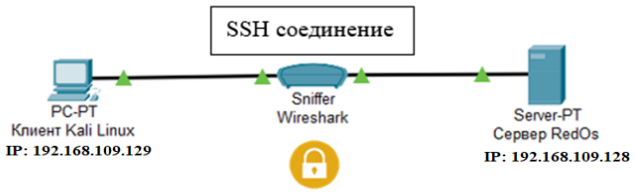


Рис. 1. Схема экспериментальной сети

Установка fail2ban выполнялась на сервере (операционная система РЕД ОС, IP-адрес 192.168.109.129) с помощью команды «sudo dnf install fail2ban -y». При этом включение и добавление утилиты в автозагрузку было выполнено с помощью команды: «sudo systemctl enable fail2ban». Далее был открыт конфигурационный файл утилиты посредством команды «sudo nano /etc/fail2ban/jail.local», в который были добавлены параметры согласно которым, если в течение одной минуты (findtime) произойдёт 3 неудачных авторизации адрес будет заблокирован навсегда (Рис. 2).

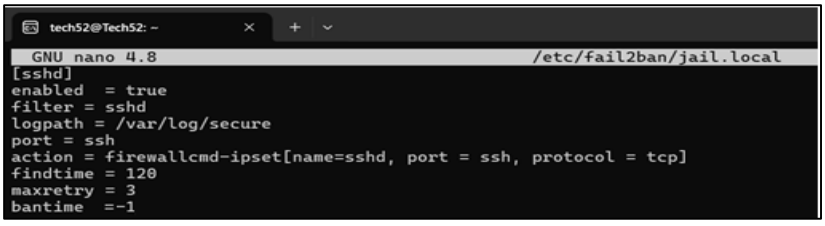


Рис. 2. Конфигурация файла «jail.local»

После изменения параметров блокировки необходимо перезагрузить fail2ban с помощью команды: «sudo systemctl restart fail2ban.service».

Необходимо обратить внимание на то, что блокировку IP-адреса с которого был неверно введен пароль (согласно значению «maxretry»), можно осуществлять и на заданное время, задав его значение в секундах в параметре «bantime».

На Рис. 3 наглядно видно то, что при введении клиентом (операционная система Kali, IP-адрес 192.168.109.128) трех неправильных паролей происходит блокировка IP-адреса, с которого осуществлялись эти запросы.

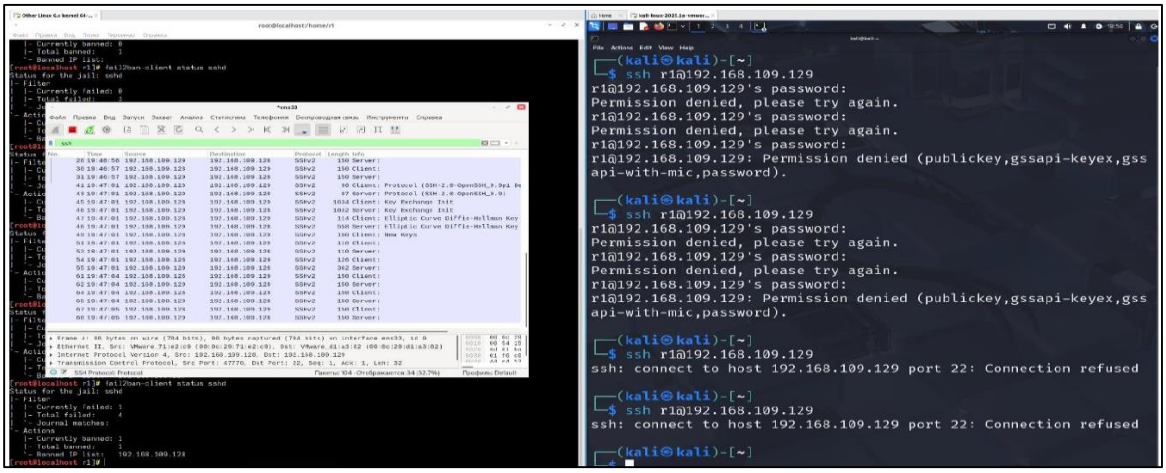


Рис. 3. Блокировка пользователя после трех неправильных попыток ввода пароля

Полностью заблокированный IP-адрес в случае необходимости можно разблокировать командой «sudo fail2ban-client set sshd unbanip IP_ADDRESS». Таким образом, с использованием утилиты fail2ban можно достаточно просто защититься от атак связанных подбором пароля с целью подключения к SSH-серверу. Причем последнее зачастую реализуется с целью реализации DDoS-атак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубничая Е.Ю., Абраменко А.А., Белокопытов А.С. Анализ сетевого трафика протоколов Telnet и SSH // Актуальные проблемы информационной безопасности: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции 18-19 декабря 2024 г. / Отв. ред. В.И. Чекмарева. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2025. С. 119-123.

USING FAIL2BAN TO PROTECT YOUR SSH SERVER FROM PASSWORD BUNKS

Golubnichaya E.Yu., Abramenko A.A., Belokopytov A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines how the fail2ban utility can be used to ensure SSH server security, specifically to implement protection against brute-force attacks when selecting passwords.

УДК 004.4

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЕЁ ПЕРЕДАЧЕ ПО ОТКРЫТЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ С УЧЁТОМ ЭНТРОПИЙНО-СТОХАСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ И НЕЛИНЕЙНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Вержаковская М.А., Аронов В.Ю.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные информационно-телекоммуникационные системы функционируют в условиях экспоненциального роста потоков данных, циркулирующих через открытые каналы связи, характеризующиеся высокой степенью стохастической неопределённости и уязвимости к деструктивным воздействиям. В этих условиях обеспечение криптографической стойкости информационных потоков приобретает характер фундаментальной задачи, формализуемой в терминах теории информации, теории вероятностей и алгебраической криптографии.

С формально-математической позиции криптографическая защита в открытых каналах описывается через композицию симметричных блочных шифров, асимметричных протоколов распределения ключей и хэш-функций с повышенной коллизионной устойчивостью. Симметричные алгоритмы (AES, ГОСТ Р 34.12-2015) оперируют в пространстве конечных полей, где операции подстановок и линейных преобразований реализуются как матричные отображения с высокой нелинейной степенью. Асимметричные схемы (RSA, ECC, постквантовые решётки) опираются на труднорешаемые задачи факторизации, дискретного логарифмирования или поиска коротких векторов в евклидовых решётках.

При этом ключевым аспектом защиты является использование протоколов распределения ключей в условиях недоверенной среды (Diffie–Hellman, протоколы на основе эллиптических кривых, квантово-устойчивые схемы типа NTRU и Kyber). Их математическая сущность сводится к решению задач теории чисел и алгебраических структур, где вычислительная сложность достигает экспоненциального порядка относительно длины ключа, обеспечивая асимптотическую неразрешимость криптоанализа при ограниченных ресурсах атакующего.

Для повышения помехоустойчивости каналов в криптографической передаче используется многоуровневая энтропийная избыточность: кодификационные схемы (LDPC-коды, коды Рида–Соломона, турбо-коды) накладываются поверх криптографического слоя, формируя гибридную модель защиты, где информационный поток обладает одновременно как структурной помехоустойчивостью, так и криптографической непредсказуемостью. Математически данный процесс описывается через суперпозицию марковских процессов с нелинейной динамикой и энтропийными функционалами Шеннона–Колмогорова.

Особую роль в современных системах играет внедрение криптографических протоколов аутентификации и интеграции, основанных на механизмах цифровой подписи (RSA-PKCS, ГОСТ Р 34.10-2018, ECDSA) и схемах хэширования (SHA-2, SHA-3, Streebog). Их эффективность обеспечивается не только криптографической стойкостью, но и распределённой верификацией целостности в условиях открытых каналов, где вероятность подмены информации аппроксимируется пуассоновскими распределениями и компенсируется введением контрольных сумм на основе криптографически стойких хэш-функций.

Таким образом, криптографические методы защиты информации в открытых каналах связи представляют собой синтетическую совокупность алгебраических преобразований, энтропийно-стоических моделей и протокольных архитектур, где устойчивость определяется не столько локальной вычислительной сложностью алгоритма, сколько глобальной асимптотической неразрешимостью задач криптоанализа в условиях стохастической неопределённости. На языке теории систем подобные методы могут быть интерпретированы как многомерные динамические аттракторы в пространстве информационной энтропии, обеспечивающие квазистационарную устойчивость канала при воздействии на него нелинейных шумовых искажений и атакующего воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарева, И.В. Криптографические методы защиты информации / И.В. Золотарева, И.Ю. Городинская // Наука и мир. – 2022. – № 1. – С. 1-5.

CRYPTOGRAPHIC METHODS FOR PROTECTING INFORMATION DURING ITS TRANSMISSION OVER OPEN COMMUNICATION CHANNELS, TAKING INTO ACCOUNT ENTROPY-STOCHASTIC DISTURBANCES AND NONLINEAR COMPUTATIONAL DISTORTIONS

Verzhakovskaya M.A., Aronov V.Yu.

(Volga State University of Telecommunications and Informatics)

Modern information and telecommunication systems operate under conditions of exponential growth of data flows circulating through open communication channels, characterized by a high degree of stochastic uncertainty and vulnerability to destructive influences. In these conditions, ensuring the cryptographic resistance of information flows becomes a fundamental task, formalized in terms of information theory, probability theory, and algebraic cryptography.

УДК 004.934.2

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОСОВЫХ DEEPFAKE АТАК

Минко А.В., Вульфин А.М., Кириллова А.Д., Фахретдинов А.Р.
(Уфимский университет науки и технологий)

Аннотация. Предлагается решение для повышения эффективности обнаружения признаков использования deepfake за счет совершенствования нейросетевых моделей и алгоритмов анализа аудиозаписей голоса человека.

Злоумышленники используют вишинг-атаки на основе глубоких нейросетевых deepfake моделей для создания аудиосообщений, на слух не отличимых от настоящего голоса и манеры речи копируемого субъекта. Проблемой является низкая эффективность автоматического обнаружения признаков deepfake генерации на основе анализа фрагмента аудиосообщения в режиме реального времени.

Согласно данным международных обзоров [1, 2], количество кибератак с использованием deepfake к 2024 году выросло более чем в 10 раз, что подчеркивает актуальность повышения эффективности автоматического обнаружения признаков использования deepfake генерации на основе оперативного анализа фрагментов аудиосообщений.

Цель работы: повышения эффективности обнаружения признаков использования deepfake за счет совершенствования нейросетевых моделей и алгоритмов анализа аудиозаписей голоса человека.

Уникальность голоса человека определяется анатомией речевого тракта, однако более надежными показателями для распознавания речи являются акустические характеристики, поскольку дикция, интонация и другие поведенческие черты зависят от ситуационных и социальных факторов. Алгоритмы автоматического распознавания речи чаще работают с акустическими признаками [3].

Предложена структурно-функциональная организация системы обнаружения голосовых deepfake атак на основе композиции нейронных сетей. Предложенные алгоритмы и модель анализа речевых аудиозаписей реализованы в программном обеспечении с микросервисной архитектурой и оценены на натурных данных. Программное решение включает docker контейнеры для предобработки, извлечения признаков и запуска моделей машинного обучения.

Для эксперимента подготовлен набор данных с реальными и фейковыми голосами. Обучающий набор включает записи 62 реальных дикторов (мужские, женские и детские голоса, около 15 часов) и записи 29 фейковых дикторов (108 записей, около 25 часов). Демонстрационный набор включает 43 реальных голоса (классифицированы по типу, около 43 минут) и 25 фейковых голосов (320 записей, около 5 часов). Подготовлены несколько моделей машинного обучения на основе полносвязных нейронных сетей прямого распространения (MLP) и сверточных нейронных сетей (CNN) (Таблица 1). MLP используют мел-кепстральные коэффициенты (MFCC) в качестве входных признаков для

обрабатываемых фрагментов аудиосигналов [4]. CNN использовали для анализа мел-спектрограммы – разновидность спектрограммы, в которой частотная шкала преобразуется в нелинейную мел-шкалу.

Таблица 1

MLP (длина речевого сигнала 1 секунда) и CNN, анализирующая мел-спектрограммы

Число слоев и число нейронов в слое	Число эпох обучения	Точность на тренировочном датасете, %	Процент верно обнаруженных фейковых аудиозаписей, %	Процент верно обнаруженных реальных аудиозаписей, %	Среднее время обнаружения для одной аудиозаписи, с
MLP (1 слой, 5 нейронов)	2	81,17	31,25	80,95	4,8
	3	82,34	31,25	66,67	5,05
MLP (1 слой, 10 нейронов)	2	73,03	40,62	76,19	-
	3	87,48	25	76,19	-
CNN (232 на 232 пикселя)	2	98,04	96,88	76,74	1,11
	3	97,25	76,25	97,67	0,93
	4	96,9	83,12	97,67	-

Проведен анализ методов обнаружения deepfake в системах анализа речевых аудиосигналов. Разработана система обнаружения голосовых deepfake атак на основе CNN. Создан набор данных, содержащий deepfake-аудиозаписи. Проведенные эксперименты продемонстрировали, что разработанная система обладает точностью распознавания deepfake-аудиозаписей на уровне 83%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Top 40 AI Cybersecurity Statistics [Электронный ресурс] / URL: https://www.cobalt.io/blog/top-40-ai-cybersecurity-statistics (дата обращения: 15.09.2025).

2. 2024 Deepfakes Guide and Statistics. [Электронный ресурс] / URL: https://www.security.org/resources/deepfake-statistics/ (дата обращения: 15.09.2025).

3. Пономарёв К.Г., Верещагина Е.А. Математический аппарат и технологическая инфраструктура системы прогнозирования голосовых дипфейков // Инженерный вестник Дона. 2024. № 6 (114). С. 1–16.

4. Аксёнова О.Д. Метод мел-частотных кепстральных коэффициентов в задаче распознавания речи // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. 2019. С. 45–46.

NEURAL NETWORK SYSTEM FOR DETECTING VOICE DEEPFAKE ATTACKS

Minko A.V., Vulfin A.M., Kirillova A.D., Fakhretdinov A.R.
(Ufa University of Science and Technology)

Abstract. The solution is proposed to increase the efficiency of detecting signs of deepfake use by improving neural network models and algorithms for analyzing audio recordings of human voices.

УДК 004.93

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ФИШИНГОВЫХ ССЫЛОК НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Минко А.В., Вульфин А.М., Кириллова А.Д., Шаймарданов А.Ф.
(Уфимский университет науки и технологий)

Аннотация. Разработан комплекс моделей анализа символьного доменного имени в задачах обнаружения фишинговых ссылок на основе построения ансамбля классификаторов, оптимизированных под аппаратные платформы. Разработано программное обеспечение с микросервисной архитектурой для интеграции в информационную систему центра мониторинга информационной безопасности.

Непрерывно возрастает количество атак на информационные системы с использованием методов социальной инженерии, включая атаки с подменой ссылок на официальные сайты организаций (фишинг) для получения конфиденциальной информации. Применение организационных мер и обучение пользователей должно сопровождаться применением встроенных и наложенных средств защиты информации от направленных и веерных фишинг-атак.

Цель работы – повышение эффективности обнаружения фишинговых ссылок за счет разработки и программной реализации моделей и алгоритмов машинного обучения для классификации символьных последовательностей.

Адрес сайта (URL/URI) включает протокол, доменное имя (с поддоменами), путь и параметры запроса. Злоумышленники создают URL, максимально похожие на легитимные, либо усложняют их, добавляя лишние символы, множество поддоменов, цифры внутри слов или заменяя буквы на схожие из другого алфавита, чтобы обойти стандартные фильтры [1].

Из URL выделяются статистические характеристики [2] – общая длина URL, длина доменного имени, число поддоменов, количество уникальных символов, доля цифр и уровень энтропии. Для более глубокого анализа внедряются лингвистические признаки через N-граммный анализ с помощью TF-IDF, что повышает эффективность обнаружения фишинга по сравнению с методами, основанными на фиксированных правилах, поскольку модель способна уловить вариации, характерные для новых тактик маскировки.

В исследовании протестированы несколько моделей на основе ансамблей деревьев решений (Random Forest, XGBoost, CatBoost). CatBoost [3] демонстрирует лучшие показатели метрики ROC-AUC 0.924, что указывает на высокую способность различать классы (Таблица 1). Для решения проблемы дисбаланса классов легитимных и вредоносных ссылок в подготовливаемом наборе данных применён метод SMOTE [4].

Разработана структурно-функциональная организация и прототип системы обнаружения фишинговых ссылок на основе программно-аппаратной реализации методов машинного обучения. Предложенные алгоритмы и модель анализа фишинговых ссылок реализованы в виде программного обеспечение на языке Python с оценкой эффективности на натурных данных.

Таблица 1

Сравнительные результаты работы моделей на подготовленном наборе данных

Метрика	CatBoost	RandomForest	XGBoost
ROC-AUC	0,924	0,915	0,918
Accuracy	0,91	0,89	0,9
F1-score	0,9	0,87	0,88

Вычислительный эксперимент подтверждает, что разработанная система с микросервисной архитектурой, объединяющая Telegram-бот для первичной обработки запросов, модуль нормализации и извлечения признаков, модель машинного обучения на базе CatBoost, а также отдельные модули Threat Intelligence, успешно решает задачу обнаружения фишинговых URL. Результаты по ключевым метрикам подтверждают высокую точность модели обнаружения.

Научная новизна предлагаемого решения заключается в разработке моделей машинного обучения для анализа символьного доменного имени на основе построения ансамбля классификаторов, отличающихся оптимизацией режима классификации для серверных платформ без видеоускорителей, что позволяет повысить оперативность анализа при встраивании в существующие системы мониторинга информационной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.И., Вульфин А.М., Кучкарова Н.В. Автоматизация анализа уязвимостей программного обеспечения на основе технологии Text Mining // Вопросы кибербезопасности. 2020. № 4 (38). С. 22–31.

2. Лукманова К.А., Картак В.М. Распознавание фишинговых ссылок с использованием методов машинного обучения // Безопасность цифровых технологий. 2024. №3 (114). С. 9–20.

3. Карпова Н.Е., Восканян И.И. Угроза социальной инженерии и фишинга в современной информационной безопасности // Безопасность цифровых технологий. 2024. № 2 (113). С. 69–78.

4. Bahnsen A.C. et al. Classifying phishing URLs using recurrent neural networks // 2017 APWG Symposium on Electronic Crime Research (eCrime). IEEE. 2017.

MACHINE LEARNING BASED PHISHING LINK DETECTION SYSTEM

Minko A.V., Vulfin A.M., Kirillova A.D., Shaimardanov A.F.
(Ufa University of Science and Technology)

Abstract. A set of models for analyzing symbolic domain names in the tasks of detecting phishing links has been developed based on the construction of an ensemble of classifiers that are optimized for hardware platforms. Software with a microservice architecture has been developed for integration into the information system of the security operation center.

УДК 004.93

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ КИБЕРРАЗВЕДКИ

Луцкович А.И., Кротов К.П., Вульфин А.М., Кириллова А.Д.
(Уфимский университет науки и технологий)

Аннотация. Разработана архитектура центра кибербразведки на базе открытой платформы OpenCTI с использованием локальной языковой модели для автоматизации формирования аналитических отчетов и интерактивного доступа через Telegram-бота.

Задача кибербразведки заключается в своевременном выявлении признаков кибератак, нарушении планов противника и минимизации последствий инцидентов информационной безопасности [1]. Центральным элементом данного процесса является специализированная система – центр кибербразведки (ЦКР), задача которого координировать взаимодействие между системами мониторинга, реагирующими подразделениями и аналитиками, предоставляя им структурированные данные индикаторов компрометации, техники атак, профили группировок, отчеты и экспертные выводы.

Создание полноценного ЦКР представляет собой задачу, требующую не только технической базы, но и организационной проработки. Наличия только платформы недостаточно, необходимы также устойчивые процессы, фильтрация источников, а также интерфейсы, адаптированные для работы аналитиков с различными специализациями. Проблемой является необходимость повышения уровня автоматизации построения аналитических отчетов на основе накапливаемых данных кибербразведки для специалистов.

Целью является разработка архитектуры программной системы ЦКР на базе открытой платформы.

Платформа OpenCTI предоставляет оптимальное сочетание функциональных возможностей и реализуется на основе принципа модульности. Ее ключевым элементом является граф знаний, который позволяет структурировать знания о вредоносном программном обеспечении, группировках злоумышленников, индикаторах компрометации, аналитических отчетах и техниках атак, фиксируя связи по времени, контексту, источнику и уровню доверия.

Предлагаемая архитектура ЦКР на базе платформы OpenCTI имеет три слоя: инфраструктурный, логический и пользовательский. В рабочем прототипе реализована связка платформы с Telegram-ботом через GraphQL API: бот принимает индикаторы компрометации от пользователя, ищет сведения в системе и инициирует дальнейшую обработку.

На следующем уровне подключена большая языковая модель, взаимодействующая по REST API с платформой OpenCTI. Она превращает данные об индикаторе в краткий структурированный аналитический отчет и передает его обратно в Telegram-бот. Помимо стандартных полей STIX учитываются метки, оценки достоверности, временные характеристики, связи и источники. Запросы выполняются без задержек и поддерживают многоуровневую фильтрацию, включая вложенный поиск.

Разведывательные данные формируют основу аналитики ЦКР. Их оперативность, структурная полнота и содержательная глубина определяют, насколько своевременно распознаются векторы атак, выстраиваются причинные цепочки и аргументируются ответные действия [2]. В прототипе используются международные фиды AlienVault OTX, Abuse.ch, VirusTotal и MITRE ATT&CK для индикаторов и описаний поведения. Отечественные каналы предоставляют уникальные сведения о специфике атак на российские организации, что критически важно для анализа угроз в российском секторе [3].

Разработаны три прикладных сценария для оценки программного прототипа системы: первый демонстрирует работу аналитика киберразведки в интерфейсе OpenCTI, отслеживание отчетов, визуализацию взаимосвязей с группами, техниками MITRE ATT&CK и вредоносными программами, навигацию по графу и работу с атрибутами объектов; второй и третий иллюстрируют действия аналитиков центра мониторинга, использующих Telegram-бота как упрощенный канал запроса (в одном случае бот возвращает развернутый отчет, в другом сообщает об отсутствии сведений в базе).

Практическая значимость подтверждается созданием программного прототипа, который может быть внедрен в организациях с ограниченными ресурсами, где требуется оперативная и автоматизированная аналитика угроз. Разработанный подход демонстрирует возможность построения адаптивной архитектуры ЦКР, направленной не только на реагирование, но и на упреждение угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скулкин О. Шифровальщики: Как реагировать на атаки с использованием программ вымогателей // пер. с англ. Москва: Альпина ПРО, 2023. 205 с.

2. Разбираемся в источниках Threat Intelligence [Электронный ресурс] / URL: https://habr.com/ru/companies/rvision/articles/555058/ (дата обращения: 15.10.2025).

3. Threat Intelligence Feeds: 9 Valuable Sources of CTI [Электронный ресурс] / URL: https://flare.io/learn/resources/blog/threat–intelligence–feeds/ (дата обращения: 15.10.2025).

CYBER INTELLIGENCE DATA MANAGEMENT SYSTEM

Lutskovich A.I., Krotov K.P., Vulfin A.M., Kirillova A.D.
(Ufa University of Science and Technology)

Abstract. A cyber intelligence center architecture was developed based on the OpenCTI open platform, using a local language model to automate the generation of analytical reports and interactive access via a Telegram bot.

УДК 004.75

ОБЛАЧНЫЕ И ТУМАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЕМ В IOT-СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Афанасьев А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последние годы облачные и туманные вычисления стали важнейшими инструментами в области Интернета вещей (IoT), особенно в сфере здравоохранения, где они играют ключевую роль в мониторинге и управлении состоянием пациентов [1]. Благодаря таким технологиям можно собирать, обрабатывать и анализировать данные с медицинских датчиков и устройств в реальном времени и обеспечивать доступ к актуальной информации для медицинских специалистов, улучшая качество обслуживания пациентов [1]. Системы на базе IoT могут обеспечивать непрерывный мониторинг состояния здоровья. Но в связи с огромным объемом данных, генерируемых этими устройствами, возникает необходимость в эффективных вычислительных системах, которые могут обрабатывать эти данные в реальном времени [2].

Облачные вычисления предоставляют масштабируемую вычислительную мощность для хранения и обработки больших объемов данных, но в некоторых случаях этого недостаточно для обеспечения минимальных задержек и высокой скорости реакции [3]. В таких случаях на помощь приходят туманные вычисления, которые обеспечивают локальную обработку данных ближе к периферийным устройствам, минимизируя задержки, и повышая эффективность передачи данных в реальном времени. Целью данной работы является исследование возможностей облачных и туманных вычислений для повышения эффективности мониторинга и управления состоянием здоровья в IoT-системах, использующих медицинские устройства и датчики.

В рамках работы был проведен анализ существующих решений и технологий, использующих облачные и туманные вычисления для медицинских IoT-систем. Рассмотрены варианты маршрутизации передачи данных для улучшения производительности и снижения задержек [4, 5]. Разработаны методы для оптимизации обработки данных, получаемых с медицинских устройств, с учетом требований к реальному времени и низким задержкам. Исследованы механизмы обеспечения безопасности и защиты данных.

Моделирование гибридной облачно-туманной системы выполнялось в среде MATLAB/Simulink. В рамках эксперимента виртуальные медицинские сенсоры генерировали трафик с параметрами, соответствующими реальным показателям сердечного ритма и давления, после чего данные передавались сначала на туманный узел для предварительной агрегации и фильтрации и только затем отправлялись в облако. Для оценки эффективности маршрутизации были заданы различные схемы распределения нагрузки и настроены сценарии

пикового трафика, что позволило отследить изменение задержек и пропускной способности в зависимости от выбранного алгоритма. При использовании исследуемого гибридного алгоритма маршрутизации средняя задержка передачи критически важных медицинских пакетов сократилась на 37 %, а пропускная способность «устройство–туман» выросла на 44 % благодаря динамической балансировке нагрузки между туманными узлами. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на совершенствовании алгоритмов маршрутизации и балансировки нагрузки в гибридных облачно-туманных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Исследование задержек при передаче данных в медицинских сетях с помощью программы iFogSim / Е.В. Глушак, П.Д. Михайлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2024. – Т. 22, № 2(86). – С. 35 - 45.

2. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157-168.

3. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

4. Глушак Е.В., Клюев Д.С., Воловач В.И. Анализ распределения задач в системе облачных и туманных вычислений // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Том 19. №7. С. 25 – 33.

5. Глушак, Е. В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е. В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

CLOUD AND FOG COMPUTING TO INCREASE THE EFFECTIVENESS OF HEALTH MONITORING AND MANAGEMENT IN IOT SYSTEMS FOR HEALTHCARE

Afanasiev A.S.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

This paper explores the integration of cloud and fog computing technologies to enhance the efficiency of monitoring and managing health in IoT-based healthcare systems. It examines how these technologies can be utilized to optimize data processing and transmission, improve Quality of Service (QoS), and ensure data security in real-time medical monitoring applications. The study focuses on developing hybrid solutions that leverage both cloud and fog resources for scalability, reliability, and low-latency operations in healthcare environments. It also investigates methods for data encryption and authentication to maintain patient data confidentiality and integrity. The paper highlights the potential of machine learning algorithms for disease prediction and the future integration of 5G and blockchain technologies to further enhance the effectiveness and security of healthcare IoT systems.

УДК 004.42

ИНТЕГРАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Глушак Е.В., Полякова И.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Интеграция облачных и туманных вычислений в системы телемедицины открывает новые возможности для улучшения доступности и качества медицинских услуг, особенно в удаленных и труднодоступных регионах [1, 2]. Облачные вычисления обеспечивают масштабируемость и хранение больших объемов данных, а туманные вычисления позволяют обрабатывать данные на локальном уровне с минимальными задержками. Рассматриваемые технологии позволяют создавать гибкие и эффективные решения для мониторинга здоровья пациентов, диагностики и предоставления медицинских консультаций в реальном времени [3]. В работе проведен эксперимент, для его проведения были использованы IoT-устройства, собирающие данные о состоянии здоровья пациента. Результаты эксперимента сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Система	**Количество устройств**	**Время отклика (мс)**	**Задержка (мс)**	**Пропускная способность (Мбит/с)**
Облачная обработка	10	150	200	10
Облачная обработка	50	300	350	9
Туманная обработка	10	90	120	15
Туманная обработка	50	180	220	13
Комбинированная система (Облако + Туман)	10	110	140	14
Комбинированная система (Облако + Туман)	50	250	300	12

Эти данные передаются на облачные и туманные узлы для обработки. Время отклика и задержка будут измеряться на каждом из уровней (облако, туман), а результаты можно сравнить для анализа влияния типа вычислений на производительность системы. Для эксперимента использована симулированная нагрузка с несколькими устройствами IoT, чтобы измерить время обработки и отклика данных.

Результаты эксперимента показали, что использование туманных вычислений значительно снижает время отклика и задержку по сравнению с

облачной обработкой данных, особенно при небольшой нагрузке (10 устройств IoT).

Время отклика на туманных узлах было на 40% быстрее, чем в облаке, при этом задержка уменьшалась на 30%. Однако, при увеличении нагрузки (50 устройств IoT) комбинированная система, использующая как облачные, так и туманные вычисления, показала лучший баланс между производительностью и задержкой, сохраняя время отклика на уровне, близком к туманной обработке, но с улучшенной пропускной способностью.

Облачные решения при высокой нагрузке страдали от увеличения задержки и снижения пропускной способности. Комбинированный подход облачно-туманных вычислений представляет собой наиболее эффективное решение для телемедицинских систем, обеспечивая быстрый отклик и хорошую пропускную способность при масштабировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак Е.В., Сенгилевцев О.А. Разработка и исследование макета сети BAN для мониторинга состояния здоровья человека / Инфокоммуникационные технологии, 2023. - Т. 21, №1. Самара. - С. 28 – 36.

2. Глушак, Е.В. Облачные и туманные вычисления: архитектура, моделирование, применение: монография / Е. В. Глушак. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2025. – 180 с.

3. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е.В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

INTEGRATION OF CLOUD AND FOG COMPUTING INTO TELEMEDICINE SYSTEMS TO IMPROVE ACCESSIBILITY AND QUALITY OF SERVICE

Glushak E.V., Polyakova I.D.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

The report explores the integration of cloud and automated computing in telemedicine systems to improve data processing efficiency and reduce delays. The study compares performance metrics such as response time, latency, and throughput between cloud-based and hybrid systems that use IoT devices for health monitoring. The experimental results show that cloud computing significantly reduces latency and response time compared to cloud-based solutions, especially when the device load is lower. The cloud-fog hybrid system provides an optimal balance between performance and scalability, making it a promising solution for telemedicine applications.

УДК 004.42

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT И ОБЛАЧНО-ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Глушак Е.В., Федин А.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Прогнозирование заболеваний с использованием IoT и облачно-туманных вычислений открывает новые перспективы улучшения диагностики и профилактики заболеваний в телемедицине [1]. Системы IoT, собирающие данные о состоянии здоровья пациента, могут в реальном времени передавать информацию в облачные и туманные платформы для анализа. На основе переданных данных можно своевременно выявлять риски заболеваний, обеспечивать повышение эффективности медицинских услуг за счет анализа данных в реальном времени [2].

В работе был проведен эксперимент, где использовались различные IoT-устройства для сбора данных о состоянии здоровья пациента, фитнес-браслеты для мониторинга пульса и активности, мониторы артериального давления, глюкометры для измерения уровня сахара в крови, термометры для контроля температуры тела. Данные с устройств передавались на туманные узлы для первичной обработки, а затем отправлялись в облачные платформы для более глубокого анализа. Для прогнозирования заболеваний использовались алгоритмы машинного обучения, включая логистическую регрессию, нейронные сети, которые обучались на исторических медицинских данных [3]. Результаты полученных данных в ходе эксперимента занесем в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Система вычислений	**Время отклика (мс)**	**Точность прогноза (%)**	**Количество устройств**	**Используемые алгоритмы**
Облачная обработка	300	85	50	Логистическая регрессия
Туманная обработка	120	90	50	Деревья решений
Облачная обработка (с 100 устройствами)	500	80	100	Нейронные сети
Комбинированная система (Облако + Туман) (с 100 устройствами)	300	88	100	Алгоритм машинного обучения

Эксперимент показал, что использование комбинированной системы облачных и туманных вычислений улучшает точность предсказаний и снижает задержку при обработке данных. При использовании только облачных вычислений для 50 устройств IoT время отклика составило 500 мс, в то время как комбинированная система (облако + туман) обеспечила время отклика 250 мс, что на 50% быстрее. Точность прогнозирования при использовании комбинированной системы была на 12% выше, достигнув 92%, по сравнению с 80% точности при использовании только облачных вычислений.

Эти результаты подтверждают, что туманная обработка данных на локальном уровне позволяет сократить задержки и повысить точность предсказаний, особенно при больших объемах данных и требованиях к реальному времени.

Следующим шагом для исследований является тестирование системы с большим количеством устройств для проверки её масштабируемости и устойчивости при увеличении нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак, Е.В. Исследование задержек при передаче данных в медицинских сетях с помощью программы iFogSim / Е.В. Глушак, П.Д. Михайлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2024. – Т. 22, № 2(86). – С. 35 - 45.

2. Глушак, Е.В. Разработка и исследование моделей функционирования облачных и туманных вычислений / Е.В. Глушак, Д.С. Клюев // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 157 - 168.

3. Глушак, Е.В. Разработка и исследование имитационных моделей облачных и туманных вычислений в программе Fogtorch / Е.В. Глушак // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 8. – С. 96 - 104.

PREDICTING DISEASES USING IOT AND CLOUD-FOG COMPUTING

Glushak E.V., Fedin A.V.

(Povolzhskiy state University of Telecommunications and Informatics)

The report explores the integration of cloud and remote computing in telemedicine systems to enhance the availability and quality of healthcare services. By leveraging Internet of Things (IoT) devices for real-time health monitoring, the study demonstrates how cloud and remote computing can optimize data processing and reduce waiting times. The combination of cloud and on-premises computing enables efficient data storage, processing, and analysis, ensuring timely medical intervention. The findings suggest that this approach significantly enhances the speed and accuracy of diagnosis, making it a promising solution for modern telemedicine applications.

УДК 004.7/656.223

«УМНАЯ» ПРИСТАВКА ДЛЯ ОСМОТРЩИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВЫГОНОВ

Росляков А.В., Попов Н.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Существующая статистика ОАО «РЖД» показывает, что наибольшее количество повреждений железнодорожных вагонов связано с неисправностями колесных пар и буксовых узлов (рис. 1). На железных дорогах в России для выявления неисправностей буксового узла вагонов используется пост акустического контроля (ПАК и ПАК-М). Однако этот комплекс имеет сложную конструкцию и большую стоимость, использует акустические преобразователи зарубежных производителей, применяется только на крупных станциях, отсюда малые масштабы его внедрения.

Рис. 1. Статистика повреждений вагонов (источник: ОАО «РЖД»)

Поэтому на сегодняшний день большая часть повреждений колесных пар выявляется по-прежнему вручную осмотрщиками вагонов на станциях на слух при соударении специального молотка с буксовым узлом колесной пары, вследствие чего имеет место человеческий фактор. Так по опубликованным данным на июль 2025 года только в ОАО «РЖД» работает 28 тысяч осмотрщиков вагонов.

Для облегчения работы осмотрщиков вагонов и повышения уровня точности диагностики неисправности колесных пар железнодорожных вагонов предлагается «умная» малогабаритная приставка с автономным питанием и низким потреблением энергии, выполненная в формате подвеса или наручных

часов, использующая микрофон для приема звуковых сигналов удара молотка о колесную буксу, микроконтроллер для построения частотного спектра сигнала на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ), беспроводной канал связи на базе стандарта WiFi IEEE 802.11 для передачи данных в центр обработки данных, где проводится фильтрация звуковых сигналов на предмет выявления различных типов неисправностей колесных пар на основе алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта. Внешний вид прототипа «умной» приставки на базе модуля M5StickC показан на рис. 2.

Рис. 2. Внешний вид прототипа «умной» приставки

Преимуществом выбранного технического решения является мобильность предлагаемого устройства, простота и дешевизна развертывания даже на небольших железнодорожных станциях

Потенциальными потребителями продукта являются юридические лица, для которых контроль за состоянием железнодорожного подвижного состава является критически важным для бизнеса. Это прежде всего компании, владеющие крупными парками железнодорожных вагонов (например, «РЖД Логистика», «ФГК», «Н-Транс» и др.).

A "SMART" DEVICE FOR A RAILWAY CAR INSPECTOR

Roslyakov A.V., Popov N.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A fully autonomous, compact device is proposed for analyzing the spectrum of the sound signal emitted when an inspector strikes a hammer on the axle box tire of a railway car wheel pair, using an integrated microcontroller and transmitting the spectrum analysis results wirelessly to a data processing center.

УДК 621.394.7

АРХИТЕКТУРА БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ (BAN)

Мамошина Ю.С., Суродин В.Н.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Body Area Network (BAN) – это тип беспроводной сети, которая включает в себя устройства и сенсоры, расположенные на или внутри человеческого тела. Основная цель BAN заключается в мониторинге физиологических параметров, сборе данных о здоровье и передаче этой информации на другие устройства, такие как смартфоны, компьютеры или серверы для дальнейшей обработки.

WBAN [1] стали интересной темой для исследователей во многих областях из-за быстрого развития исследований в области Интернета вещей (IoT). Приложения WBAN и IoT имеют широкое применение, включая удаленный мониторинг здоровья/фитнеса. Количество различных типов датчиков, которые производятся для приложений IoT, быстро увеличивается, что делает использование WBAN более экономически эффективным для многих областей. Кроме того, объем информации, которую WBAN предоставляют от людей, никогда не мог бы быть получен без беспроводного доступа. Такая информация широко используется для мониторинга и обучения людей определенным видам деятельности. Очевидно, что с ростом использования WBAN будет расти число сетевых проблем, и эти проблемы необходимо решать, чтобы максимально использовать будущие WBAN.

Существуют различные архитектуры WBAN, предложенные многими различными исследовательскими группами для конкретных приложений. Архитектура и протоколы связи зависят от приложения для оптимизации производительности. В основном используется трёхуровневая архитектура WBAN, используемая в системах здравоохранения (рис.1).

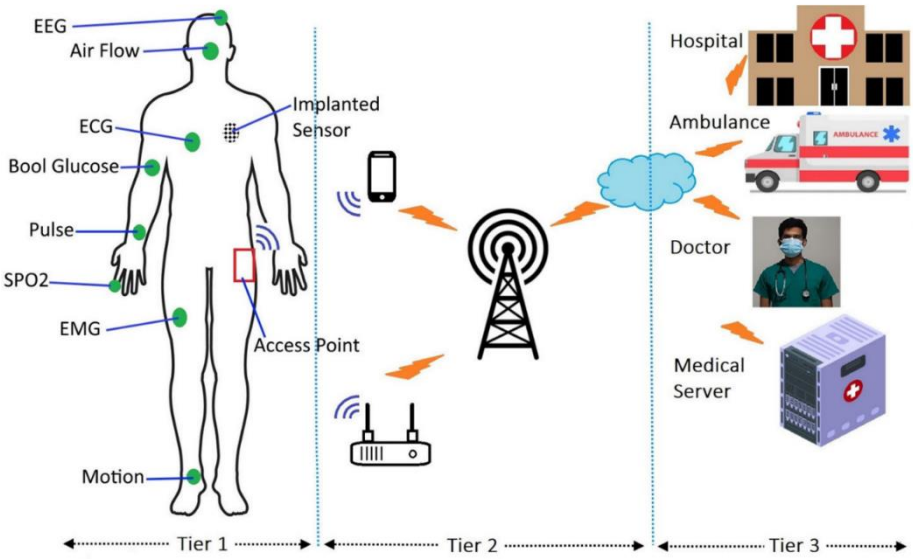


Рис. 1. Трёхуровневая архитуктура WBAN

Уровень 1 включает датчики, включая датчики электроэнцефалографии (ЭЭГ), датчики электрокардиографии (ЭКГ), датчики электромиографии (ЭМГ) и датчики периферического насыщения кислородом (SPO2), прикрепленные к телу или имплантированные в тело. Этот уровень называется уровнем внутри WBAN, где все коммуникации происходят внутри WBAN. Уровень 2 имеет внешние шлюзы связи, такие как мобильный телефон или маршрутизатор Wi-Fi, подключенный к Интернету. Может быть один WBAN, взаимодействующий с другим WBAN, и это называется уровнем между WBAN, но все еще классифицируется как уровень 2. Связь между шлюзами и конечными пользователями классифицируется как уровень 3, обычно известный как уровень за пределами WBAN. Облачные вычисления находятся между уровнями 2 и 3. Существуют варианты и производные этой базовой архитектуры.

Поскольку характер WBAN и тип данных различаются от приложения к приложению, передача и обработка данных датчиков являются сложными, и некоторые исследователи предложили интегрировать облачные вычисления в WBAN.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, W. Encryption-free data transmission and hand-over in two-tier body area networks / W. Wang, T. Qin // Comput. Methods Programs Biomed, – 2020. – № 192. – С. 63-73.

ARCHITECTURE OF WIRELESS SENSOR NETWORKS (BAN)

Mamoshina Y.S., Surodin V.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper considers the architecture of wireless sensor networks (BAN).

УДК 621.391.3:004.5

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЭГ В ИНТЕРФЕЙСАХ «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР»

Батаев А.А., Гребешков А.Ю.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Работа посвящена прикладным аспектам применения нейроинтерфейсов, также известных как интерфейс «мозг-компьютер» (ИМК), представляющий технологию для организации коммуникации между мозгом человека и электронными устройствами, чаще всего компьютером или роботом. Основной метод для фиксирования активности мозга – это электроэнцефалография (ЭЭГ), которая заключается в регистрации биоэлектрической активности мозга при помощи чаще всего неивазивных проводных электродов. ЭЭГ обеспечивает высокую точность в анализе мозговой активности. Среди параметров ЭЭГ для классификации в рамках ИМК выделяют частоту ЭЭГ в Гц, как признак ритмичности нейроактивности т.е. ЭЭГ состоит из волн с примерно постоянной частотой; также частота может быть аритмичной, где отсутствуют стабильные ритмы либо частота может быть дисритмичной, то есть обладать ритмами и/или паттернами ЭЭГ-активности, которые характерны для определенных групп пациентов (эпилептоиды) или ритмы, которые редко наблюдаются у здоровых граждан. Другую классификацию можно построить по среднему напряжению или пиковому напряжению импульсов ЭЭГ-активности. Здесь можно проводить классификацию по признаку ослабления (синонимы: подавление, депрессия) т.е. уменьшение амплитуды ЭЭГ-сигнала как результат снижения электрического напряжения и активности на ЭЭГ. Другой признак – это гиперсинхронность в виде одновременного увеличения уровня напряжения и регулярности ритмической активности с учетом альфа-, бета- или тета-диапазонов ЭЭГ. Термин «гиперсинхронность» подразумевает увеличение количества нейронных элементов, способствующих формированию ритма. Также выделяется пароксизмальная. активность, которая возникает на фоне с быстрым началом, достигает (обычно) довольно высокого напряжения и заканчивается резким возвратом к активности с более низким напряжением.

Таким образом, одной из важных задач, связанных с обработкой данных ЭЭГ является классификация сигналов из различных отделов головного мозга. Для этого применяются различные методы, в том числе методы машинного обучения. Метод главных собственных векторов (Support Vector machine, SVM) применяется не только для классификации, но и для линейного регрессионного анализа. Метод SVM позволяет разбить пространство аннотированных данных по бинарной схеме в гиперплоскости для определения максимального различия (дистанции) между данными. В рассматриваемой модели входные данные в виде цифрового описания импульсов ЭЭГ можно представить как случайный вектор вида $\mathbf{X}^j = \left(x^{1j},...,x^{nj}\right)$, где j-й элемент есть точечная реализация случайного

вектора. Пусть каждой реализации x^{1j} можно сопоставить метку-описание каждой реализации y для целей обучения, причем это сопоставление можно описать с помощью функции φ. Тогда можно утверждать, что также имеется векторное пространство меток вида $\{(x^1, y^1), (x^2, y^2), ...(x^m, y^m)\}$, где несколько j-х элементов могут иметь одну метку, если отсчеты сигналов идут из одной области мозга. С помощью метода SVM определяется граница данных на гиперплоскости согласно выражению (1):

$$\gamma = min_t \; y^i \left\{ \left\langle \mathbf{w}, \varphi(\mathbf{x}^i) \right\rangle - b \right\}, \qquad (1)$$

где $\langle w, \varphi(x^i) \rangle - b$ соответствует дистанции между точками x^i; b есть вычисляемый параметр (число), значение γ максимизируется.

Метод K-ближайших соседей также подходит для классификации ЭЭГ, поскольку является надежным методом для больших, данных с учетом зашумления сторонним помехами, но требует заранее заданного значения k, поскольку в пространстве обучающих выборок будет поиск похожих выборок на основе меры схожести функции расстояния между данными. Нейронная сеть представляет собой массивный эквивалентный распределенный процесс, состоящий из сравнительно простых вычислительных процедур, которые обладают свойством хранения знаний и предоставления их для использования. Одним из наиболее важных свойств нейронных сетей является их способность формировать результат при подаче входного сигнала с помощью обучающих данных [1]. Предварительная обработка сигналов ЭЭГ с помощью рассмотренных методов является одной из областей, в которой ведутся исследования с целью повышения эффективности нейроинтерфейсов и их приложений. Для целей дальнейших исследований предполагается применение метода SVM с дальнейшим переиспользованием обучающих данных с помощью нейронных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребешков А.Ю., Батаев А.А. Анализ применения нейронных сетей для интерфейса мозг-компьютер // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: мат-лы XXXII Росс. научн.-техн. конф. Самара, 2025. - С. 268-269.

ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR EEG CLASSIFICATION IN BRAIN-COMPUTER INTERFACES

Bataev A.A., Grebeshkov A.Y.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This is an introduction to the methods used for machine learning in classifying electroencephalograms (EEGs) for brain-computer interfaces. SVM method for future studying proposed.

УДК 004.8:004.414:004.738.5

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ-ТЕСТИРОВАНИЯ В IOT-РЕШЕНИЯХ

Киреева Н. В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Развитие Интернета вещей (IoT) влечет за собой появление более сложных экосистем, включающих миллионы устройств, взаимодействующих между собой и с облачными платформами. Для таких решений особенно критично качество программного обеспечения, так как ошибки могут приводить к финансовым потерям и к угрозам безопасности пользователей. В этих условиях традиционные методы тестирования становятся недостаточными, и всё больше компаний внедряют технологии искусственного интеллекта (ИИ) в процессы тестирования IoT-продуктов. Именно надежность тестирования формирует доверие к IoT-решениям в бытовой и в промышленной сфере.

Рассмотрим преимущества применения ИИ в тестировании IoT.

- Ускорение процессов тестирования. IoT-системы включают тысячи сценариев взаимодействия устройств. Использование ИИ позволяет автоматически генерировать тесты для различных комбинаций и сценариев работы, что ускоряет процесс тестирования в разы. По данным исследований, внедрение ИИ сокращает время подготовки тестов на 70–80%, а генерация отчетов об ошибках — на 90%.
- Повышение покрытия тестами. IoT-экосистемы требуют проверки взаимодействия датчиков, мобильных приложений и облачных сервисов. ИИ способен анализировать логи работы устройств и автоматически выявлять критические зоны кода, обеспечивая более полное покрытие.
- Адаптация тестов к изменениям. В условиях CI/CD и постоянных обновлений прошивок IoT-устройств ИИ позволяет автоматически адаптировать тесты к новым версиям программного обеспечения, снижая нагрузку на инженеров по тестированию.
- Предсказание дефектов и отказов. На основе анализа телеметрии и исторических данных ИИ может прогнозировать узкие места и потенциальные точки отказа в IoT-системе, что особенно важно для «умного дома», носимой электроники и медицинских IoT-решений.

В России наблюдается активное внедрение технологий ИИ в процессы тестирования ПО. Компании стремятся автоматизировать рутинные задачи, повышая эффективность и качество разработки. Кроме того, в России уже есть опыт применения ИИ для тестирования и анализа IoT-решений:

- СберТех внедряет ИИ для автоматической генерации тестов и анализа больших объемов данных, поступающих от IoT-сенсоров. Это помогает выявлять нестабильные сценарии работы устройств и повышать надежность сервисов «умного дома».
- К2Тех занимается адаптацией нейросетевых моделей для бизнес-процессов, в том числе тестирования IoT-платформ. Их решения позволяют

автоматизировать проверку прошивок и интеграцию IoT-устройств с корпоративными системами [1].

- В рамках проектов Дом.РФ и ряда телекоммуникационных компаний ведется работа над автоматизацией тестирования «умных» систем мониторинга зданий, где ИИ помогает формировать тестовые сценарии и предсказывать сбои оборудования.

Несмотря на очевидные преимущества, использование ИИ в тестировании IoT сопровождается рядом проблем:

- необходимость больших массивов данных для обучения моделей;
- высокая стоимость интеграции ИИ-инструментов в существующую инфраструктуру;
- вопросы информационной безопасности (ИБ) и конфиденциальности данных, особенно в случае IoT-медицины;
- потребность в специалистах, способных работать одновременно в области тестирования, IoT и ИИ.

Применение ИИ в тестировании IoT-решений открывает возможности для повышения качества, надежности и безопасности продуктов. Интеллектуальные системы позволяют ускорить тестирование, расширить его охват, прогнозировать сбои и снижать затраты. Однако успешное внедрение требует комплексного подхода, включающего подготовку специалистов, формирование базы данных для обучения моделей и решение задач ИБ. Таким образом, ИИ становится ключевым инструментом в развитии IoT, помогая создавать цифровые экосистемы. В перспективе именно интеграция ИИ и IoT может стать основой для создания полностью автономных систем, способных не только работать без ошибок, но и самостоятельно предотвращать их.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИИ в деле: актуальные сценарии внедрения нейросетей в России. [Электронный ресурс]. / URL: https://habr.com/ru/companies/k2tech/articles/862032/ (дата обращения: 20.09.2025).

APPLICATION OF AI TESTING IN IOT SOLUTIONS

Kireeva N. V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article focuses on the application of artificial intelligence (AI) technologies in testing Internet of Things (IoT) solutions. It examines the advantages of using AI, including acceleration of testing processes, expansion of test coverage, automatic adaptation to changes, and failure prediction. Particular attention is paid to Russian experience in implementing AI in testing IoT systems, including projects by SberTech, K2Tech, and Dom.RF. Key challenges are noted: the need for high-quality data, information security issues, and the high cost of integration. The conclusion is made that the integration of AI and IoT is promising for creating reliable and secure systems.

УДК 681.5

ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Коняева О.С., Симонов К.О.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные предприятия по производству железобетонных изделий предъявляют повышенные требования к качеству выпускаемой продукции. Системы управления процессом контроля качества обеспечивают непрерывный мониторинг состояния образцов, формируют базы данных результатов испытаний и предоставляют возможность их последующего анализа. Предлагаемая архитектура системы включает: измерительный модуль, микроконтроллер и программное обеспечение.

Основным элементом системы является контейнер-ячейка, в котором размещается образец железобетона. Для макетирования корпуса возможно использование 3D-печати с применением пластика PLA, обладающего достаточной прочностью для моделирования. Весовая платформа размером 100×100 мм также изготавливается из того же материала и монтируется на тензодатчики. Для фиксации массы образца применяются тензодатчики с предельной нагрузкой до 10 кг, подключённые через модуль АЦП HX711, обеспечивающий высокоточное преобразование аналогового сигнала в цифровой. Такая конфигурация позволяет с высокой точностью регистрировать вес железобетонных кубиков стандартного размера, масса которых находится в пределах допустимого диапазона датчиков. В центральной части под платформой размещается возвратная пружина, задача которой — стабилизировать положение весовой площадки и исключить её деформацию в ненагруженном состоянии. Пружина должна обладать жёсткостью порядка 0,3–0,5 Н/мм, что позволяет уравновешивать собственный вес платформы (до 20 г), не влияя на результаты измерений массы образцов.

В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер Arduino, на котором реализован алгоритм обработки показаний тензодатчиков. На каждом такте считываются значения с датчиков, вычисляется их среднее, после чего результат переводится в граммы с учётом коэффициента калибровки.

Для минимизации погрешностей используется метод скользящего среднего:

$$X_t = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_{t-i},$$

где X_t – усреднённое значение на момент времени t, n – размер окна выборки, x_{t-i} – показания датчика. Такой подход снижает влияние шумов и обеспечивает стабильность показаний.

Программное обеспечение является кроссплатформенным. Приложение взаимодействует с базой данных SQLite, которая хранит сведения об образцах. Программа циклически опрашивает микроконтроллер и обрабатывает поступающие значения. Если масса превышает 800 г, система интерпретирует это как факт помещения кубика в ячейку и автоматически создаёт запись в базе данных со структурой: id, name, mark, class, m_pow, t_wait, s_value, f_value. На первом этапе фиксируются уникальный идентификатор образца (id) и стартовый вес (s_value). Затем, в пользовательском интерфейсе появляется новая строка, которую оператор может открыть в виде карточки. В ней предусмотрено внесение дополнительных данных: название кубика (name), марка (mark) и класс (class) бетона, а также выбор времени выдержки (t_wait) (3, 6 или 28 дней). После подтверждения введённой информации программа переводит время выдержки в секунды, вносит данные в БД и запускает параллельный процесс отсчёта. По завершении выдержки выполняется повторное взвешивание и фиксируется конечный вес образца (f_value), а система уведомляет сотрудника о готовности кубика к дальнейшим испытаниям. В зависимости от требований предприятия каналы оповещения могут быть различными: электронная почта, мессенджеры или СМС. В рамках макета в качестве примера реализуется уведомление по e-mail.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуц А. В. PostgreSQL 13. Основы языка SQL и администрирование [Текст]: учебное пособие / А. В. Гуц. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 368 с.

2. Arduino Project Hub. Использование HX711 с тензодатчиками для измерения массы [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://create.arduino.cc/projecthub

3. Клокова Н. П., Лукашник В. Ф., Воробьёва Л. М., Волчик А. В. Тензодатчики для экспериментальных исследований [Текст] / Н. П. Клокова, В. Ф. Лукашник, Л. М. Воробьёва, А. В. Волчик. – М.: Машиностроение, 1972. – 152 с.

SOFTWARE ARCHITECTURE OF A QUALITY CONTROL PROCESS MANAGEMENT SYSTEM FOR REINFORCED CONCRETE PRODUCTION ENTERPRISES

Konyaeva O.S., Simonov K.O.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Modern reinforced concrete production enterprises impose increased requirements on the quality of manufactured products. Quality control process management systems provide continuous monitoring of sample conditions, generate databases of test results, and enable their subsequent analysis. The proposed system architecture includes a measurement module, a microcontroller, and software.

УДК 004.418

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕМЕДИЦИНЕ

Бузова Е.А., Томашевский Н.С.

(АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Активное внедрение телемедицины и медицинского Интернета вещей (IoT), несмотря на свои преимущества, резко расширяет область для потенциальных кибератак. Медицинские учреждения становятся мишенью для злоумышленников из-за ценности данных и критичности своих систем.

Перегрузка инфраструктуры: тысячи новых устройств IoT создают непредвиденную нагрузку на сети, а традиционные средства защиты не успевают за их масштабом и динамичностью, образуя «слепые зоны».

Уязвимость данных пациента: медицинские записи — особо конфиденциальная информация. Их утечка или подмена может привести не только к финансовому ущербу, но и к прямой угрозе жизни и здоровью людей (например, через изменение данных о непереносимости лекарств).

Слабая защита медоборудования: не малая часть медицинского оборудования работает на устаревшем ПО, которое невозможно обновить из-за санкций со стороны иностранных производителей данного оборудования. Оборудование использует незашифрованные протоколы, которые являются инструментом для входа в сеть медицинского учреждения в руках злоумышленников.

Пример масштабного сбоя в авиакомпании «Аэрофлот» 28 июля 2025 года наглядно показывает, что происходит при атаке на критическую инфраструктуру. В медицине последствия могут быть катастрофическими:

- блокировка жизненно важного оборудования (аппаратов ИВЛ, хирургических роботов);
- прямой вред здоровью пациентов путем изменения настроек медицинских приборов.

Антивирусы и межсетевые экраны, работающие по принципу поиска известных «отпечатков» (сигнатур), неэффективны против целевых атак и вредоносных программ «нулевого дня», которые еще не известны.

Вместо того чтобы искать известные вирусы, системы на основе ИИ учатся понимать, что является «нормой» для каждого пользователя и устройства в сети при помощи UEBA (User and Entity Behavior Analytics) - технологии выявления киберугроз, основанная на анализе поведения пользователей, а также устройств, приложений и иных объектов в информационной системе. Любое отклонение от этого «цифрового отпечатка» — например, попытка МРТ-сканера установить несанкционированное соединение с внешним IP-адресом, необычно высокий исходящий трафик с сервера с пациентами или доступ пользователя к данным, не соответствующим его должностным обязанностям, будут немедленно распознаны как аномалия. Конечно, такие действия могут быть деактивированы на уровне аппаратного межсетевого экрана, но если злоумышленнику удастся

заполучить на головном сервере права суперпользователя, допустим, получив доступ к рабочей станции оператора или заведующего отделением, то алгоритмы межсетевого экрана никак не воспрепятствуют нехарактерному для пользователя действиям.

Такое решение не способно не только предупреждать о угрозах, но и самостоятельно на них реагировать: изолировать зараженное устройство, блокировать подозрительные учетные записи или MAC-адреса, минимизируя ущерб без ожидания реакции человека.

Цифровая трансформация медицины – это уже не будущее, а настоящее, и риски, которые она несет, требуют перехода к проактивной защите. Системы мониторинга информационной безопасности с использованием ИИ, анализирующие поведение, а не сигнатуры, — это уже не опция, а необходимое условие для обеспечения безопасности пациентов и непрерывной работы медицинских учреждений в современном мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритм выявления угроз информационной безопасности в распределенных мультисервисных сетях органов государственного управления / А.Ю. Пучков, А.М. Соколов, С.С. Широков, Н.Н. Прокимнов // Прикладная информатика. 2023. Т. 18, № 2. С. 85-102.

2. Белов А.С. Модернизация системы информационной безопасности = Modernization of the Information Security System: The Approach to Determining the Frequency: подход к определению периодичности / А.С. Белов, М.М. Добрышин, Д.Е. Шугуров // Защита информации. Инсайд. 2022. № 4. С. 76-80.

INFORMATION PROTECTION IN TELEMEDICINE

Buzova E.V., Tomashevskij N.S.
(Joint Stock Company «Samara innovative business radio systems»,
Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

The article is devoted to the analysis of modern information security challenges arising as a result of active digitalization of healthcare. The possibility of integrating information security monitoring systems into telemedicine platforms and Internet of Things (IoT) devices as critical infrastructure of medical institutions is considered.

УДК 004.051, 004.7

ПЛАНИРОВАНИЕ РАСПИСАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

Астахова Т.Н.

(Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Современные системы Интернета вещей (IoT) всё чаще включают мобильные сенсорные узлы с автономным питанием, что делает энергоэффективность ключевым требованием при проектировании протоколов взаимодействия. В условиях динамического перемещения узлов в пространстве возникает необходимость адаптивного планирования расписания передачи данных с учётом текущего и прогнозируемого положения устройств относительно базовой станции. В работе рассматривается кинематическая сенсорная система, в которой узлы перемещаются по траекториям, учитывающим ограничения на линейную и угловую скорости [1]. Целью исследования является разработка метода планирования расписания, минимизирующего суммарное энергопотребление при передаче данных за цикл сбора информации. Для расчёта требуемой мощности используется формула Фрииса, согласно которой потребляемая мощность пропорциональна квадрату расстояния [2]. Это делает критически важным выбор момента передачи: чем ближе узел к базовой станции, тем меньше энергии требуется для успешной передачи пакета. Однако в условиях синхронного протокола доступа каждый узел должен передать данные ровно один раз за цикл, и временные окна распределяются без пересечений.

Для оптимизации распределения временных слотов формулируется задача о назначениях: каждому из N узлов ставится в соответствие одно из N временных окон так, чтобы суммарная мощность передачи была минимальной. Матрица затрат формируется на основе прогнозируемых расстояний от узлов до базовой станции в каждый момент времени цикла. Решение задачи осуществляется с помощью венгерского алгоритма, что гарантирует глобальный минимум целевой функции при полиномиальной сложности. Особое внимание уделяется узлам, движущимся в направлении удаления от базовой станции: им выделяются более ранние временные слоты, чтобы избежать значительного роста энергозатрат в конце цикла. Численные эксперименты показали, что предложенный подход снижает общее энергопотребление почти на треть по сравнению с равномерным или случайным распределением временных окон. Это подтверждает эффективность учёта кинематики узлов при планировании расписания.

Разработанная модель может быть интегрирована в системы управления IoT-инфраструктурой, особенно в сценариях с ограниченными энергетическими ресурсами, например, в задачах мониторинга окружающей среды, промышленной автоматизации или «умных городов». Перспективными направлениями дальнейших исследований являются расширение модели на случай нескольких базовых станций, использование машинного обучения для прогнозирования траекторий и разработка распределённых алгоритмов планирования, не требующих централизованного управления.

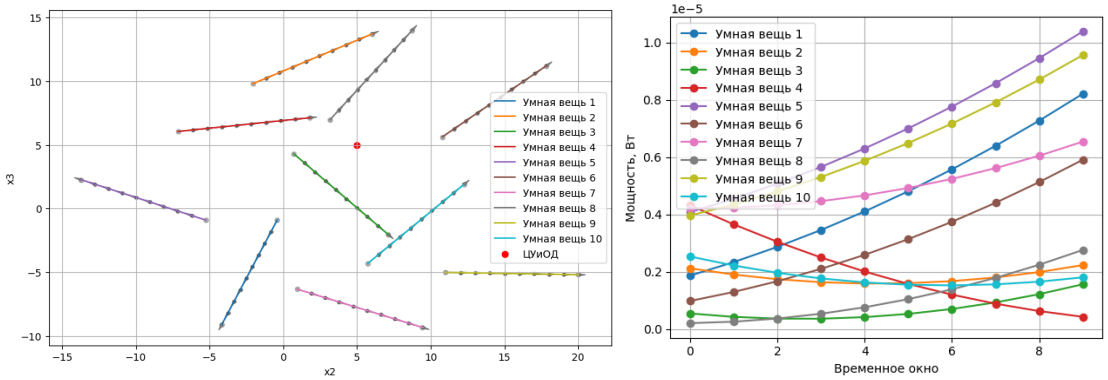


Рис.1. Траектория движения и затраты мощности на передачу данных в каждый временной такт

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахова, Т. Н. Модель планирования движения мобильного устройства в сенсорной системе / Т. Н. Астахова // Региональная информатика и информационная безопасность : Сборник трудов Санкт-Петербургской международной конференции и Санкт-Петербургской межрегиональной конференции, Санкт-Петербург, 23–25 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2024. – С. 42-43. – EDN NIPIMU.

2. Friis H. T. A note on a simple transmission formula //proc. IRE. – 1946. – Т. 34. – №. 5. – С. 254–256.

SCHEDULING DATA TRANSMISSION TO MINIMIZE ENERGY CONSUMPTION IN THE INTERNET OF THINGS

[1]Astakhova T.N.

(Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics)

This paper addresses energy-efficient scheduling in modern IoT systems comprising mobile sensor nodes with autonomous power sources. The study focuses on dynamic node movement modeled by Dubins trajectories, considering constraints on linear and angular velocities. The goal is to minimize total energy consumption during data transmission cycles by optimally allocating time slots based on predicted node positions relative to a base station. Utilizing the Hungarian algorithm for assignment problems, the proposed method accounts for nodes moving away from the station by assigning earlier transmission slots to reduce energy costs. Numerical experiments with a network of 10 mobile nodes demonstrate that the approach decreases overall power consumption by nearly one-third compared to uniform or random scheduling. The developed model can be implemented in energy-constrained IoT applications such as environmental monitoring and smart city systems, with future research directions including multi-base station scenarios, machine learning-based trajectory prediction, and distributed scheduling algorithms.

УДК 004.415.25

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИОСЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ КОГНИТИВНОГО РАДИО

Хакимов О.М., Султанов А.Х., Щепотьев И.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

Интернет вещей (IoT) стремительно развивается, соединяя миллиарды устройств в единую экосистему. Однако большинство таких устройств работают от автономных источников питания, что делает энергоэффективность ключевым параметром при проектировании радиосетей. Технология когнитивного радио (Cognitive Radio, CR) позволяет динамически использовать спектр, повышая его эффективность, но требует дополнительных энергетических затрат на спектральное обнаружение, обработку и обмен служебными сообщениями.

Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI) описывает концепции перенастраиваемых радиосистем и когнитивных возможностей [1]. Международный союз электросвязи (ITU) публикует отчёты по совместному использованию спектра и white spaces [2]. 3GPP исследует энергоэффективные решения для сотовых технологий, включая NB-IoT и 5G IoT, делая их основой для внедрения CR-технологи [3]..

Энергопотребление IoT-устройства складывается из энергозатрат на передачу (TX), приём (RX) и ожидание (idle). Использование когнитивного радио добавляет расходы на спектральное обнаружение (sensing) и вычисления, но снижает количество коллизий и повторных передач. Общая энергия системы может быть выражена как:

$$E_{\text{общ}} = P_t T_t + P_r T_r + P_{idle} T_{idle} + E_{sense} + E_{ctrl} \quad (1)$$

Алгоритмы когнитивного радио и их влияние на энергию:

- Спектральное обнаружение — энергодетекторы просты и энергосберегающи, но менее точны. Методы машинного обучения повышают точность, но требуют вычислений.
- Динамический доступ к спектру (DSA) снижает вероятность коллизий и уменьшает число повторных передач.
- Управление мощностью позволяет сократить избыточное потребление энергии при сохранении связи.
- Кооперативное сенсирование снижает нагрузку на отдельные узлы, но требует обмена данными.
- Энергетический сбор (Energy Harvesting) позволяет компенсировать энергозатраты за счёт внешних источников [4].

Для повышения энергоэффективности CR-IoT систем рекомендуется использовать гибридные схемы спектрального анализа, применять кооперативное сенсирование, оптимизировать мощность передачи и использовать энергоисточники возобновляемого типа.

Следует также учитывать международные стандарты ETSI, ITU и 3GPP при проектировании систем.

Когнитивное радио является перспективным направлением для повышения энергоэффективности радиосетей IoT.

При правильной реализации и адаптации алгоритмов возможно достижение значительного снижения энергопотребления без ухудшения качества связи.

CR-технологии позволяют обеспечить баланс между производительностью и экономией энергии в современных беспроводных сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ETSI. Reconfigurable Radio Systems (Cognitive Radio) Overview. https://www.etsi.org/technologies/reconfigurable-radio
2. ITU. Spectrum Management Reports and Recommendations. https://www.itu.int
3. 3GPP. Energy Efficiency Overview and 5G IoT Developments. https://www.3gpp.org
4. Arshid K. Energy efficiency in cognitive radio network using machine learning methods. ScienceDirect, 2022.

ENERGY EFFICIENCY OF IOT RADIO NETWORKS BASED ON COGNITIVE RADIO ALGORITHMS

Khakimov O.M., Sultanov A.Kh., Shchepotiev I.A.
(Ufa University of Science and Technology)

Abstract. The article discusses the influence of cognitive radio (CR) algorithms on the energy efficiency of IoT radio networks. The study analyzes official standards (ETSI, ITU, 3GPP) and various methods of spectrum management, power optimization, and cooperative communication. Cognitive radio allows for adaptive use of the spectrum and efficient energy management in low-power IoT devices.

УДК 612.741.1

ADS1299 АППАРАТНОЕ ВНЕДРЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ПО SEMG

Гарафутдинов А.А., Никишина Г.В.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Аннотация. Представлены результаты прикладного исследования применимости микросхемы Texas Instruments ADS1299 для регистрации поверхностной электромиографии (ЭМГ) в переносимых системах. Предложена минималистичная архитектура тракта с активным подавлением синфазной помехи и цифровой обработкой в реальном времени. Оценены эквивалентный входной шум, подавление сетевых наводок, задержки вычисления признаков и точность распознавания пяти жестов предплечья. Полученные характеристики демонстрируют пригодность ADS1299 для задач интерактивного управления с низкими задержками при умеренном энергопотреблении.

Микросхема собрана на макетной плате с разнесением аналоговой и цифровой зон. Соединения минимальной длины, линии к электродам - экранированные витые пары с разгрузкой натяжения. Питание изолированное: ±2,5 В для аналоговой части и 3,3 В через малошумящий стабилизатор для цифровой; интерфейс с ПК развязан USB [1].

Электроды установлены попарно на мышцы предплечья и кисти; расстояние между контактами в паре - около 20 мм. Опорный контакт вынесен на костную область, где мышечная активность минимальна. Частота опроса - 2000 измерений в секунду на канал. Усиление подбирается для каждого канала (обычно 12 или 24), а при признаках перегрузки автоматически снижается.

Перед анализом данные проходят фильтрацию. Используется полосовой фильтр, который пропускает частоты от 20 до 450 Гц и узкий фильтр на 50/60 Гц, чтобы убрать гул электросети. Для управления в реальном времени рассчитывается плавная «огибающая» - показатель текущей активности мышцы. Для распознавания жестов из каждого короткого фрагмента (окно около 100 миллисекунд, новое значение каждые ~50 миллисекунд) берутся несколько показателей силы и формы сигнала, после чего они сравниваются с эталоном состояния покоя. Классификатор - линейный, с небольшой регуляризацией и «гистерезисом» на выходе: это помогает уменьшить случайные переключения между классами.

Данные записаны у одного человека по протоколу из пяти жестов предплечья: сгибание, разгибание, пронация, супинация и расслабление. На каждый жест выполнено по десять повторов длительностью около трёх секунд. Точность оценивалась так, чтобы каждый повтор по очереди тестировался на данных, на которых алгоритм не обучался [2][3].

Качество сигнала сильнее всего зависит от правильного размещения электродов и корректной работы схемы активного смещения. Благодаря переносу опорного контакта на кость и аккуратной фиксации кабелей можно

мягче подавлять сетевой гул и лучше сохранять естественную форму ЭМГ, что непосредственно повышает точность распознавания. Частота 2 кГц даёт достаточный запас по верхним частотам; дальнейшее увеличение не даёт заметной прибавки в точности, но расходует больше энергии и ресурсов. Смешанный выбор усиления с автоматическим снижением при признаках перегрузки позволяет избежать потерянных данных. Нормировка по базовой линии покоя и короткая рекалибровка перед новой сессией уменьшают «дрейф» показателей между днями. Передача данных организована так, чтобы кадры приходили ровно и без пропусков, с минимальными и стабильными задержками.

В итоге ADS1299 показывает низкий уровень шума в рабочей полосе, хорошо подавляет общие наводки при использовании активного смещения, обеспечивает малые задержки обработки и высокую точность распознавания пяти выбранных жестов на записи. Практические выводы таковы: использовать парные электроды с опорой на костной области, обязательно включать активное смещение, держать частоту дискретизации около 2 кГц, выбирать усиление из диапазона 12-24 с защитой от перегрузки, применять фильтр 20-450 Гц и аккуратно подавлять сетевую частоту, нормировать признаки по состоянию покоя и проводить короткую рекалибровку между сессиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hermens H. J., Freriks B., Disselhorst-Klug C., Rau G. Development of recommendations for sEMG sensors and sensor placement // Journal of Electromyography and Kinesiology. 2000. С. 361-374.

2. Будко Р.Ю., Чернов Н.Н., Будко Н.А., Будко А.Ю. Распознавание электромиограммы предплечья и выбор жестов для управления протезом // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. С. 54-66.

3. Гарафутдинов, А. А. Нейронно-сетевой анализ многоканальных ЭМГ-сигналов: архитектуры, алгоритмы и применение в управлении протезами конечностей / А. А. Гарафутдинов // Вопросы защиты информации. - 2025. - № 2(149). - С. 34-41.

ADS1299 IN SEMG HUMAN-MACHINE INTERFACE TASKS: RECORDING QUALITY AND STABILITY BETWEEN SESSIONS

[1]Garafutdinov A.A., [1]Nikishina G.V.,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Abstract. The results of an applied study of the applicability of the Texas Instruments ADS1299 chip for the registration of surface electromyography (EMG) in portable systems are presented. A minimalistic eight-bipolar channel architecture with active common-mode rejection and real-time digital processing is proposed. The equivalent input noise, network interference suppression, feature calculation delays, and the recognition accuracy of five forearm gestures are evaluated. The obtained characteristics demonstrate the suitability of the ADS1299 for interactive control tasks with low delays and moderate power consumption.

УДК 621.383

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ В МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Валиуллин Ш.Р., Данилаев Д.П.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

1. Введение

Детекторы одиночных фотонов позволяют регистрировать крайне слабые оптические сигналы - часто на уровне отдельных фотонов, что обеспечивает максимальную чувствительность и минимальный фон шумов. В телемедицинских решениях и IoT-устройствах для медицины критически важны малое энергопотребление, компактность, высокая чувствительность и устойчивость к шуму.

2. Технологии однофотонных детекторов

К наиболее перспективным технологиям относятся лавинные фотодиоды одиночных фотонов (SPAD) [1], сверхпроводниковые нанопроволочные детекторы (SNSPD), а также гибридные и CMOS-интегрированные решения. SPAD позволяют интегрировать детекторы в портативные системы, работающие при комнатной температуре, что делает их привлекательными для IoT-применений. SNSPD обеспечивают сверхнизкий уровень темновых счётов, однако требуют криогенных условий [2].

3. Применения в биомедицине

Однофотонные детекторы применяются в флуоресцентной микроскопии, нейровизуализации и временно-диффузной оптической томографии [3]. SPAD-матрицы обеспечивают регистрацию одиночных фотонов с точным временным разрешением, что повышает контраст и подавляет фоновый шум. В диагностике вирусов и ДНК-тестах SPD позволяют фиксировать флуоресценцию меток при ультранизких концентрациях [4]. Таким образом, данные системы могут быть использованы для обнаружения биомаркеров (включая вирусную РНК SARS-CoV-2) [5], системы мониторинга состояния крови и биожидкостей [6]. На рис. 1 представлена схема работы детектора флуоресцентной микроскопии, сплошные красные линии соответствуют возбуждающему свету, а пунктирные зеленые линии – испускаемому свету. При условии подходящего угла падения на детектор попадает только испускаемый свет. Результат на рис.2

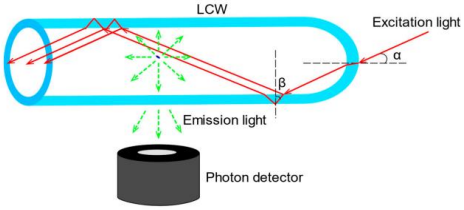


Рис. 1. Схема LCW, выполняющего одновременно функции направления возбуждения и фильтрации излучения [5]

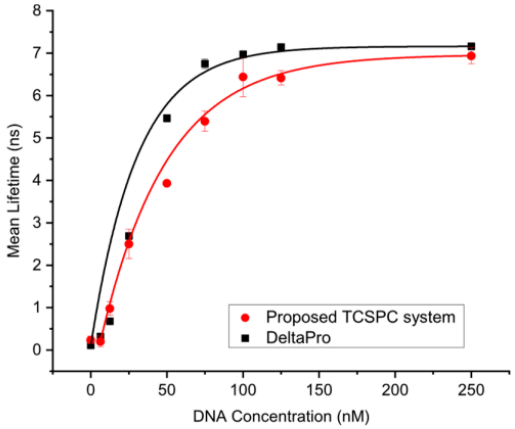


Рис. 2. Результаты работы описанной системы – среднее время жизни флуоресценции в зависимости от концентрации ДНК [5]

4. Заключение

Однофотонные детекторы открывают новые возможности для высокочувствительных медицинских решений и IoT-устройств. Их применение позволяет работать на минимальных уровнях полезного сигнала, повышать эффективность детектирования слабых сигналов, используя в флуоресцентной микроскопии и временно-диффузной оптической томографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pavia J. et al. A 1 × 400 CMOS SPAD line sensor for time-resolved fluorescence spectroscopy // IEEE J. Solid-State Circuits. - 2015. - P. 2406-2418.

2. You L. Superconducting nanowire single-photon detectors for quantum information and communications // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. - 2020. - Vol. 27, No. 4. - P. 1-12.

3. Pifferi A., Contini D., Mora A.D. Time-domain diffuse optics // Applied Sciences. - 2020. - Vol. 10, No. 3. - P. 1101.

4. Liu Y. et al. Nano-biosensors for detection of SARS-CoV-2 // Biosensors and Bioelectronics. - 2021. - Vol. 178. - P. 113068.

5. Tian Y. et al. A Low-Cost Time-Correlated Single Photon Counting System for Biomedical Applications // Sensors. - 2019. - Vol. 19, No. 18. - P. 3992.

6. Taha B.A. et al. Detection of COVID-19 Virus on Surfaces Using Photonics // Sensors. - 2021. - Vol. 21, No. 5. - P. 1557.

APPLICATION OF SINGLE PHOTON DETECTORS IN MEDICAL DEVICES

Valiullin Sh.R., Danilaev D.P.

(National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Single-photon detectors enable the detection of extremely weak optical signals—often at the level of individual photons—ensuring maximum sensitivity and minimal background noise. Low power consumption, compact size, high sensitivity, and noise immunity are critical for telemedicine solutions and medical IoT devices.

УДК 004.932

СНИЖЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДАЧИ ЛАТЕНТНЫХ ПРИЗНАКОВ

Лопухова Е.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

Телемедицинские системы для скрининга ретинальных патологий по данным оптической когерентной томографии (ОКТ) сталкиваются с ограничениями пропускной способности каналов связи и требованиями к низкой задержке обработки. Передача полного объема ОКТ-данных, состоящего из сотен B-сканов, в режиме реального времени затруднительна. В работе исследуется подход, основанный на передаче компактных латентных признаков, извлеченных иерархической нейросетевой архитектурой, для преодоления этих ограничений [1].

Ограничения пропускной способности каналов связи телемедицинской системы определяются общей задержкой на обработку одного кадра L_{total}, которая складывается из времени инференса модели L_{proc} и времени передачи данных L_{tx}:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{proc}} + \frac{S}{C}, \qquad (1)$$

где S – объем передаваемых данных, а C – пропускная способность канала. Предлагаемый подход заменяет передачу исходных ОКТ-изображений ($S_{\text{img}} \approx$ 512 КБ) на передачу их низкоразмерных векторных представлений (эмбеддингов), полученных с помощью энкодера EfficientNet-B0 ($S_{\text{emb}} \approx 5$ КБ) [2]. Это позволяет снизить объем передаваемых данных почти на два порядка. Максимально достижимая частота обслуживания пациентов $f_{\max}$ определяется как $f_{\max} = 1/L_{\text{total}}$. Таким образом, при использовании эмбеддингов слагаемое S_{emb}/C становится пренебрежимо малым, и производительность системы приближается к своему теоретическому пределу, который определяется только вычислительной мощностью краевых устройств: $f_{\max} = 1/L_{\text{proc}}$. Высокое качество диагностики при таком сжатии информации обеспечивается обучением модели с использованием фокальной функции потерь с балансировкой классов, акцентирующая внимание на сложных случаях и компенсирующая дисбаланс данных, характерный для медицинских выборок:

$$L_{\text{focal}} = -\alpha_n \left(1 - p_t\right)^{\gamma} \log\left(p_t\right) \qquad (2)$$

где α_n – класс-балансирующий коэффициент (вес), применяемый в фокальной потере для примера n или для соответствующего класса, p_t – модельная вероятность «целевого» исхода в двоичной подзадаче, γ – параметр «фокусировки» в фокальной потере, управляющий подавлением легко классифицируемых примеров и акцентом на сложных.

Был проведен анализ работы иерархической нейросетевой архитектуры и передачи эмбеддингов в модели телемедицинской системы, который

продемонстрировал минимизацию задержки и требований к каналу при сохранении диагностической точности и калиброванности решений в телемедицинском сценарии ОКТ-диагностики. Комплекс конвейера содержит порядка 37,0 млн параметров при вычислительной сложности около 7,72 GFLOPs по одному изображению, что определяет нижнюю границу вычислительных затрат. Измеренная задержка инференса на GPU равна 24,6 мс на изображение, что задает верхнюю оценку кадровой частоты порядка f_{max}≈1/0,0246≈40 кадров/с при пренебрежимо малой доле сетевой передачи, достижимой при отправке эмбеддингов вместо сырого кадра. Пара 24,6 мс (GPU) и ≈40 кадров/с согласуется с заявленным режимом близким к реальному времени для потока ОКТ-кадров в клиническом сценарии удаленного анализа. На CPU зафиксированы 187,4 мс на изображение и 87,3 обработок в секунду в табличной оценке, что указывает на требование к параллелизму/конвейеризации для удержания пропускной способности без падения точности.

Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность работы близко к режиму реального времени при переносе вычислений на край и передаче компактных латентных признаков вместо сырого изображения, что позволяет снизить требования к пропускной способности канала связи, обеспечивая при этом высокую производительность и сохраняя клинически приемлемую точность диагностики.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Low-latency automotive vision with event cameras [Текст] / D. Gehrig, D. Scaramuzza // Nature. 2024. Т. 629, № 8014. С. 1034–1040.

2. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks [Text] / M. Tan, Q. Le // Proceedings of the 36th International Conference on Machine LearningPMLR, 2019. P. 6105–6114.

REDUCING THE BANDWIDTH REQUIREMENTS OF THE TELEMEDICINE DIAGNOSTIC SYSTEM BASED ON THE TRANSMISSION OF LATENT SIGNS

Lopukhova E.A.
(Ufa University of Science and Technology)

The paper explores optimizing telemedicine retinal diagnostics by transmitting compact latent features from a hierarchical neural network rather than raw OCT images. This reduces channel bandwidth and transmission latency.

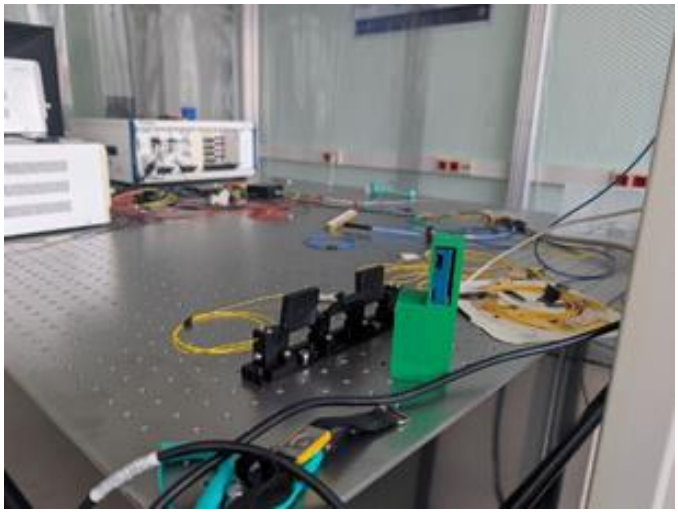
УДК 62-79

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЧАСТИЦ В ПОМЕЩЕНИИ

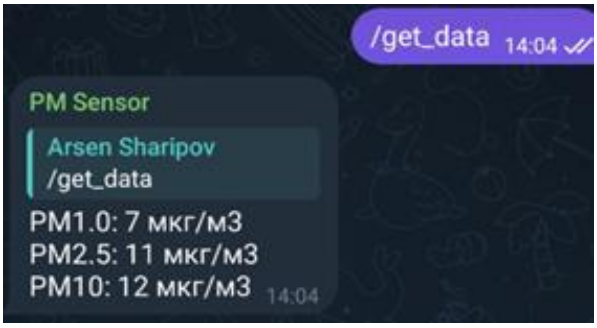
Шарипов А.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

В условиях растущей индустриализации проблема качества воздуха становится все более актуальной. Рост промышленных предприятий, строительство новых объектов и другие факторы приводят к увеличению уровня запыленности окружающей среды. В связи с этим особую важность приобретает мониторинг концентрации пыли в окружающей среде, который позволяет своевременно выявлять превышения допустимых норм и принимать меры для улучшения качества воздуха.

Для осуществления контроля концентрации мелкодисперсных частиц в воздухе и оперативного реагирования на превышения нормированных значений была разработана система интеллектуального мониторинга на основе устройств интернета вещей с использованием лазерного датчика пыли PMS7003 [2] и микроконтроллера ESP32 [3] (Рис. 1, а). Для создания системы было выполнено физическое соединение микроконтроллера и датчика, разработано программное обеспечение для взаимодействия микроконтроллера с датчиком и облачной инфраструктурой, а также для оповещения пользователей (Рис. 1, б). Использование алгоритмов фильтрации на основе машинного обучения позволяет более точно прогнозировать концентрацию микрочастиц и осуществлять автоматический контроль запыленности, предотвращая негативные последствия воздействия высокой запыленности на состояние оборудования и здоровье человека.



а)



б)

Рис. 1. Интеллектуальная система мониторинга концентрации пыли (а – прототип датчика, установленный в лаборатории; б – пример получения данных о концентрации пыли)

Разработанная система интеллектуального мониторинга демонстрирует высокую эффективность в контроле качества воздуха и своевременном выявлении превышений допустимых норм. Непрерывное измерение концентрации частиц, автоматическая сигнализация при превышении концентрации микрочастиц, сбор, хранение, интеллектуальный анализ и визуализация данных позволяют снизить затраты на обслуживание специализированных помещениях и предотвратить сбои и простои оборудования, а также снизить количество брака и увеличить эффективность работы центров обработки данных, лабораторий и чистых комнат.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Towards a hygroscopic growth calibration for low-cost PM2.5 sensors / Milan Y. Patel, Pietro F. Vannucci, Jinsol Kim, W. Berelson, R. Cohen // Atmospheric Measurement Techniques. — 2024. — Vol. 17. — P. 1051–1060

2. Digital universal particle concentration sensor [Электронный ресурс]. URL: https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf (дата посещения: 29.04.2025)

3. ESP32-C6-DevKitC-1 — esp-dev-kits latest documentation [Электронный ресурс]. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32c6/esp-dev-kits-en-master-esp32c6.pdf (дата последнего посещения: 29.04.2025)

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE CONCENTRATION OF MICROPARTICLES IN A ROOM

Sharipov A.A.

(Ufa University of Science and Technology)

This article presents the development of an intelligent monitoring system designed for the control and assessment of particulate matter concentration in indoor environments. The system is based on a laser particle sensor (PMS7003) and an ESP32 microcontroller, which are integrated to continuously monitor dust levels. The implementation of machine learning-driven data filtering algorithms enhances the accuracy of particulate matter concentration predictions. Additionally, the system utilizes MQTT for reliable data transmission and messaging services for real-time alerts, thereby enabling automated control and mitigating the adverse effects of elevated dust levels on infrastructure equipment and human health.

Секция 6. Современная элементная база и проблемы разработки телекоммуникационного оборудования.

УДК 621.382.2/.3

ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ GAAS PHEMT ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ БУФЕРНОГО УСИЛИТЕЛЯ L/S-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

Кулиш А.М.

(Московский институт электронной техники)

Буферные усилители в диапазоне 1–4 ГГц широко применяются в радиолокации, спутниковой и наземной связи, беспроводных сетях и измерительных системах [1]. Для таких приложений критически важны высокий коэффициент усиления, линейность, устойчивость работы и компактность интегрального исполнения. Перспективным решением является использование GaAs pHEMT технологий, обеспечивающих средний уровень выходной мощности и предсказуемые характеристики в СВЧ-диапазоне при сравнительно низких потерях в полупроводниковой подложке.

В работе представлен процесс проектирования двухкаскадного усилителя мощности в диапазоне 1–4 ГГц, разработанного базе отечественного технологического процесса GaAs pHEMT с проектной нормой 0,5 мкм АО «Светлана-Рост».

Разработанный усилитель выполнен по каскадной структуре. Входной каскад реализован на транзисторе 6×75 мкм и обеспечивает требуемое малосигнальное усиление. Выходной каскад построен на транзисторе 8×100 мкм и формирует выходную мощность 17 дБм. Рабочие режимы заданы при напряжениях затвор-исток –0,7 В и сток-исток 3,5 В, ток стока составил 100 мА и 174 мА соответственно.

Анализ устойчивости каскадов показал, что транзисторы не обладают абсолютной устойчивостью во всём диапазоне частот. Для устранения этого ограничения последовательно затворам включены параллельные RC-цепи и последовательные резисторы в цепях смещения [2]. В результате достигнута полная устойчивость усилителя во всём рабочем диапазоне.

Результаты моделирования показали, что усилитель обеспечивает коэффициент усиления более 20 дБ, выходную мощность при 1-дБ компрессии 17 дБм.

Производство интегральной микросхемы будет выполнено за счет средств Минобрнауки России в рамках федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности» по гос. заданию на выполнение научно-исследовательской работы «Разработка методики прототипирования электронной компонентной базы на отечественных микроэлектронных производствах на основе сервиса MPW».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GaAs PHEMT and InP HEMT MMIC Requirements for Satellite Based Communications Systems / M. Delaney [et al.] // Proceedings of the GaAs Mantech Conference. 2001. P. 89-92.

2. Stability analysis and demonstration of an X-band GaN power amplifier MMIC / Van Heijningen M. [et al.] // 2016 11th European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC). 2016. P. 221-224.

DESIGN OF AN L/S-BAND BUFFER AMPLIFIER MMIC BASED ON GAAS PHEMT TECHNOLOGY

Kulish A.K.

(Moscow Institute of Electronic Technologies)

A 1–4 GHz two-stage power amplifier is designed with a domestic GaAs pHEMT process. Simulation results demonstrate over 20 dB of gain, 17 dBm output power, and unconditional stability, confirming the effectiveness of the design methodology.

УДК 004.942, 621.396.6

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ АППАРАТУРЫ СВЯЗИ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Колотов А.С., Копысов А.Н., Хворенков В.В.
(Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова)

С ростом сложности систем связи, возрастает необходимость в их стабильном и безотказном функционировании. Разработка и модернизация методов анализа печатных плат (ПП) представляет собой важную научно-практическую задачу. Решение данной задачи способствует улучшению характеристик разрабатываемых электронных приборов, повышению конкурентоспособности на современном рынке услуг.

В работе рассматривается метод термического анализа ПП. Вопросами обеспечения тепловых режимов при конструировании радиоэлектронных средств рассматривались рядом авторов [1–2]. В основе методики положен принцип постопологического анализа, к основным преимуществам которого относятся: учет конкретных физических свойств ПП, взаимовлияния соседних трасс и компонентов, более точное моделирование паразитных эффектов. Блок схема алгоритма представлена на рисунке 1.

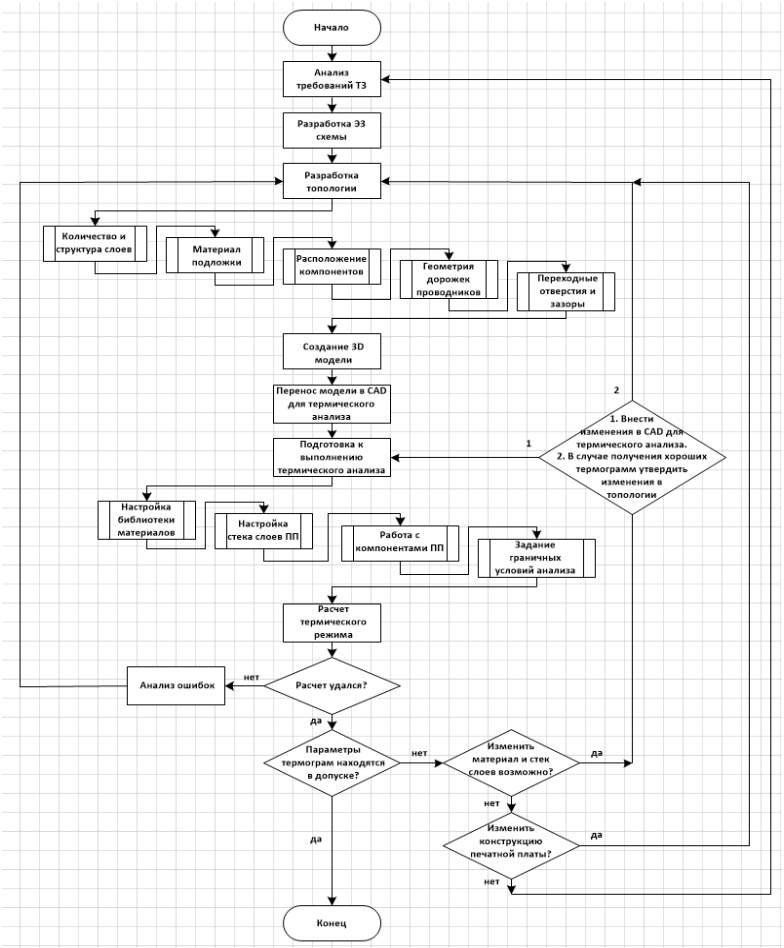


Рис. 1. Блок-схема термического анализа

Этот вид анализа используется для оценки тепловых режимов компонентов ПП. Методика позволяет установить распределение температурных полей, оценить эффективность систем теплоотвода, выявить области потенциального перегрева. В расчетах учитываются тепловые сопротивления материалов, мощность тепловыделения компонентов, условия теплообмена со средой. При сильных тепловых нагрузках даже незначительные конструктивные недостатки систем теплоотвода приведут к заметному увеличению температуры. Это негативно отразится на функционировании печатной платы. Результат такого анализа – целесообразная конструктивная и технологическая доработка ПП.

Апробация приведенного алгоритма выполнена в среде Altair Pollex. При проведении компьютерного моделирования проведено сравнение результатов с реальным прототипом платы. Результаты показали, что термограммы, полученные в ходе теплового анализа модели ПП с учетом полной металлизации и структурных особенностей слоев, могут иметь погрешность в определении температурных режимов электрорадиоэлементов до 5 % по сравнению с фактическими измерениями опытного образца. Данная оценка позволяет принимать обоснованные решения по обеспечению надежности изделия и оптимизации конструктивных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кочетков О. С., Лобачев Н. Ю., Сарычев Е. В.* Способы влияния на температурное распределение по объему приемо-передающего модуля // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2023. № 3. С. 77–88. DOI: 10.38013/2542-0542-2023-3-77-88

2. *Сотникова С. Ю., Кононова Н. А., Ландер Л. Б., Цветков В. Э., Яловнаров С. В.* Влияние печатных проводников на тепловой режим радиоэлектронных приборов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65. № 10. С. 712–724. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-10-712-724.

THE DEVELOPMENT OF A DIAGNOSTIC TECHNIQUE FOR PRINTED CIRCUIT BOARDS OF COMMUNICATION EQUIPMENT USING THERMAL ANALYSIS

Kolotov A.S., Kopysov A.N., Khvorenkov V.V.
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov)

This paper describes the method of thermal analysis. This method allows to determine the temperature distribution on the board, evaluate the efficiency of the heat sink and identify overheating zones. The algorithm presented was tested in the Altair Pollex environment. A practical comparison of the prototype of the exciter board and the computer model was carried out. It was found that the thermograms obtained using the model differ from the real ones by no more than 5%.

УДК 004.94

ПРИЧИНЫ И МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ ТРАКТОВ РАДИСОТАНЦИЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Гайдабрус К.Г., Бояршинов М.А.

(Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова)

Для обеспечения высокой избирательности сигналов в приемо-передающих системах применяются частотные фильтры. Они подавляют нежелательные помехи и обеспечивают беспрепятственное прохождение сигнала в нужной полосе частот. Разработка частотных фильтров с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) не обходится без построения компьютерных моделей, которые позволяют определить тип, структуру, порядок и предварительно оценить параметры проектируемых фильтров. Также при помощи компьютерных моделей можно обеспечить наилучшее согласование между различными участками приемо-передающих трактов. Современные САПР позволяют моделировать электрические схемы не только в ручном, но и в автоматическом режиме, что обеспечивает более тонкую настройку и позволяет получить наиболее качественные характеристики передачи, ослабления и согласования. Такие модели помогают оптимизировать характеристики и ускорить процесс разработки. Проблема данного метода разработки заключается в том, что характеристики реальных фильтров обычно не соответствуют полученным результатам моделирования, что было выявлено на практике в ходе разработки приемо-передающих трактов комплекса связи «Сатурн». Несоответствие параметров фильтра может привести к ухудшению характеристик и неправильной работе всей системы, а в некоторых случаях – выходу устройства из строя. Важно учитывать влияние внешних факторов и погрешностей, а также необходимость точной калибровки. Улучшение методов моделирования и калибровки позволяет значительно снизить расхождения между теорией и практикой, что способствует повышению качества и стабильности работы систем связи. Использование современных систем и методов настройки также играет важную роль в повышении точности и надежности фильтров.

В работе рассматриваются основные параметры частотных фильтров, способы моделирования, причины несоответствия реальных фильтров их компьютерным моделям, влияние печатной платы и других элементов устройства на характеристики фильтра, а также способы увеличения точности моделирования и методы настройки фильтров для повышения их эффективности и надежности.

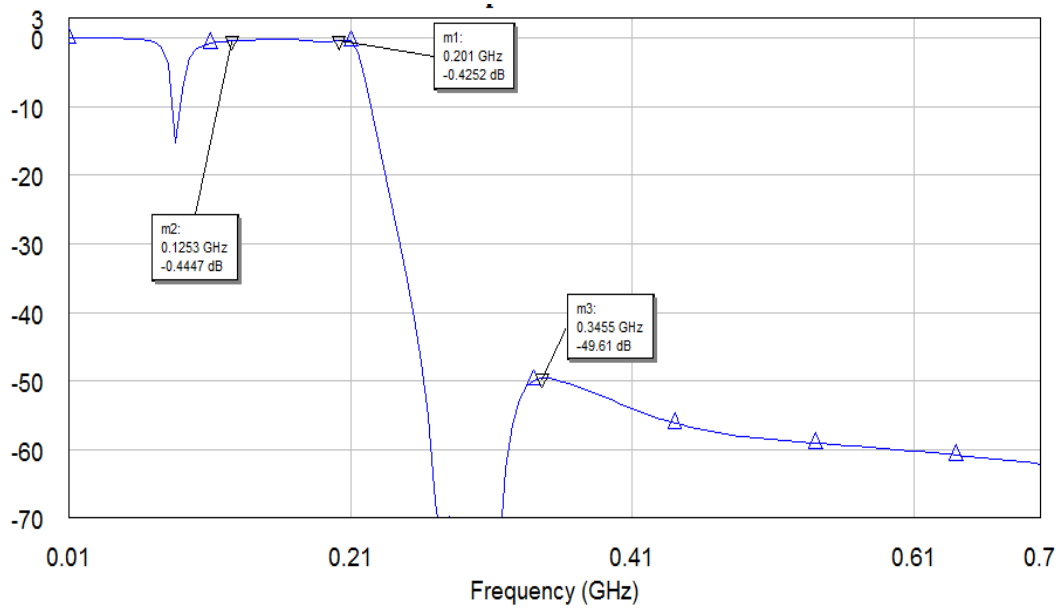


Рис. 1. АЧХ смоделированного фильтра

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. "Основы теории цепей" // учебное пособие для вузов. Энергоатомиздат, 1989. – 530 с., с ил.

2. Ламанов Ю. А., Кудрявцева Т. О., Дроботун Н. Б. "Разработка и исследование микрополоскового фильтра нижних частот с высокой крутизной спада АЧХ" // Доклады ТУСУР, Том 24, № 2, 7-13 с. DOI: 10.21293/1818-0442-2021-24-2-7-13.

3. Унру Н. Э. "Автоматизированное проектирование микроволновых устройств в AWR Design Enviroment" // учебное пособие для вузов. НГТУ (университет), 2017. – 76 с.

4. Зайцева, З.В. "Теория электрических цепей: расчет ARC и LC-фильтров" // учебное пособие для вузов. СПбГУТ, 2015. – 80 с., с ил.

REASONS AND METHODS OF MINIMIZING THE DIFFERENCES BETWEEN THE PARAMETERS OF REAL FREQUENCY FILTERS OF RADIO TRANSMISSION LINES AND THE PARAMETERS OF THE COMPUTER MODEL

Gaidabrus K.G., Boyarshinov M.A.

(Kalashnikov Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov)

Frequency filters are used to ensure high signal selectivity in transceiver systems. They suppress unwanted interference and ensure unimpeded signal passage in the required frequency band. The development of frequency filters using computer-aided design (CAD) systems cannot be done without building computer models that allow one to determine the structure and preliminarily estimate the parameters of the designed filters. The problem with this development method is that the characteristics of real filters usually do not correspond to the obtained modeling results.

УДК 621.391

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

Филимонова Л.Н., Сташкевич Е.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Актуальность данной работы заключается в том разработка имитационной модели, в настоящее время является одним из наилучших методов в обучении молодых специалистов в области радиосвязи, так как благодаря данному способу моделирования можно изучить современные радиоприемные и радиопередающие устройства, в которых преобладают цифровые методы формирования и обработки радиосигналов [1].

На рис. 1 представлена обобщенная блок – схема цифрового преобразователя частоты QAM – сигнала без джиттера, в котором далее осуществляется процесс цифрового понижения и демодуляция сигнала с построением сигнального созвездия.

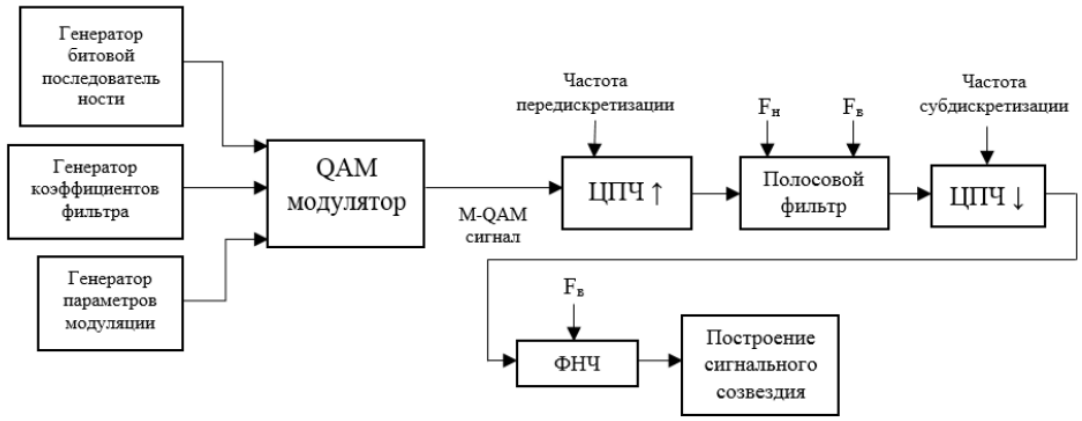


Рис. 1. Блок – схема цифрового преобразователя частоты (ЦПЧ)

В свою очередь, рис. 2 – рис. 4 представлены полученные результаты имитационного моделирования, исходя из которых можно сделать вывод о том, что после передискретизации наблюдается существенное снижение энергетики сигнала пропорционально величине сокращения амплитудных отсчетов сигнала.

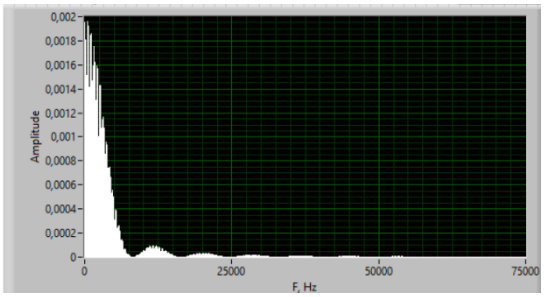


Рис. 2. Исходный спектр сигнала при QAM – 4

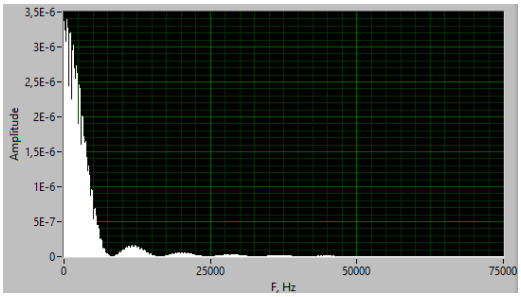
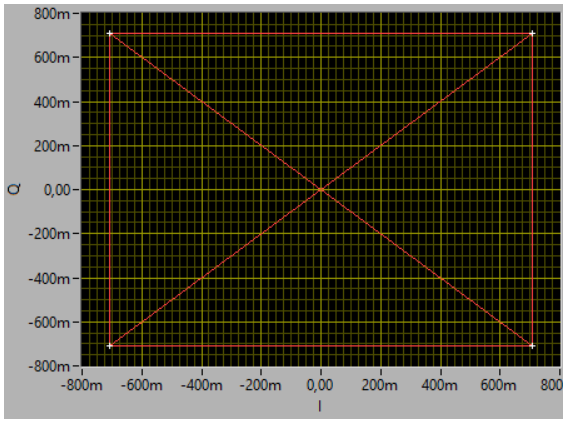
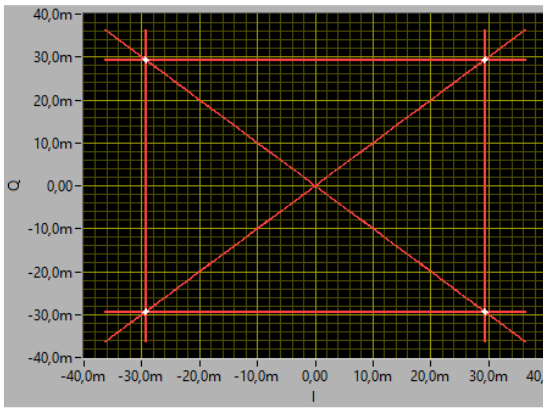


Рис. 3. Полученный спектр на выходе фильтра нижних частот (ФНЧ)



А)



Б)

Рис. 4. Результирующие сигнальные созвездия QAM – 4 сигнала: а) на выходе QAM – модулятора; б) на выходе фильтра нижних частот (ФНЧ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин, В. А. Основы программно – конфигурируемого радио. – М. : Горячая линия – Телеком, 2015. – 372 с.

SIMULATION MODELING OF DIGITAL FREQUENCY CONVERSION

Filimonova L.N., Stashkevich E.D.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper presents the results of simulation of a digital frequency converter using visual modeling tools.

УДК 621.396.1

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ OFDM

Филимонова Л. Н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Разработанная в рамках исследования имитационная модель OFDM – канала, которая представлена на рис. 1, позволит изучить основные характеристики канала. Кроме этого, следует заметить, что согласно [1], ортогональное частотное мультиплексирование с разделением каналов (OFDM), позволяет в должной мере обеспечить высокую скорость передачи информации за счет ее устойчивости к межсимвольной интерференции (МСИ).

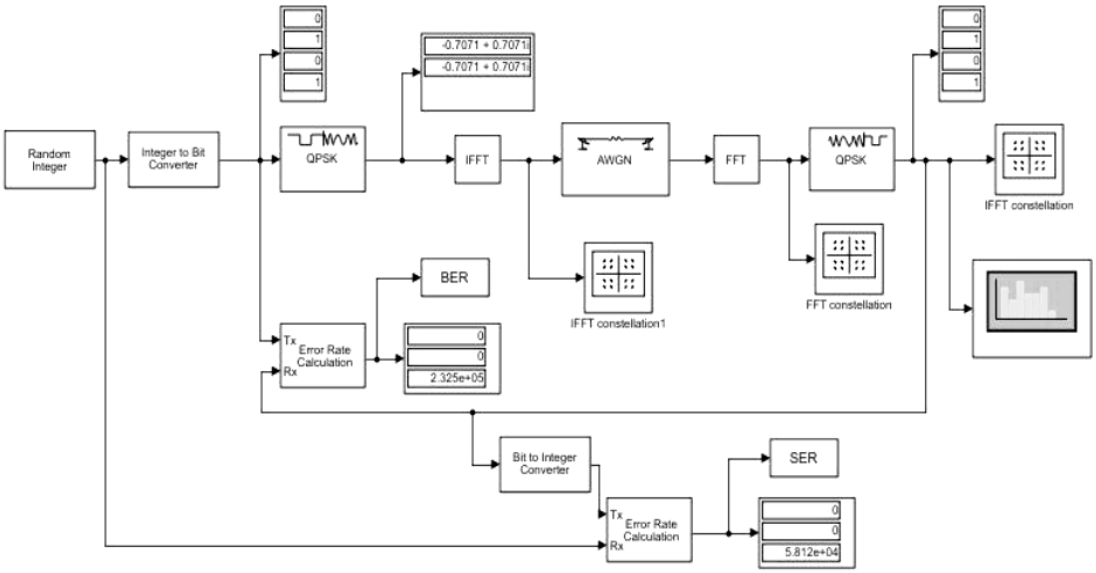


Рис. 1. Предлагаемая OFDM – модель канала

Таким образом, в процессе выполнения соответствующего исследования, через блок *AWGN* была передана шумовая составляющая. При этом, для выполнения соответствующей оценки его влияния на переданный сигнал был выбран блок *BER*, который дает возможность оценить возникающее количество ошибок в канале.

На рис. 2 и рис. 3 соответственно представлены полученные в ходе выполнения имитационного моделирования спектры демодулированного сигнала при $\frac{E_b}{N_0} = 1$ и $\frac{E_b}{N_0} = 10$. При этом, необходимо отметить, что с ростом $\frac{E_b}{N_0}$, значения *BER* также увеличиваются.

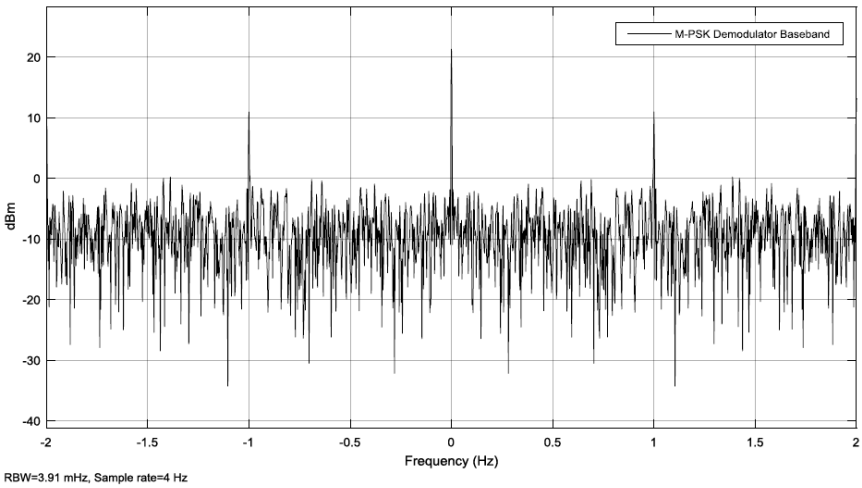


Рис. 2. Спектр демодулированного сигнала при $\frac{E_b}{N_0} = 1$

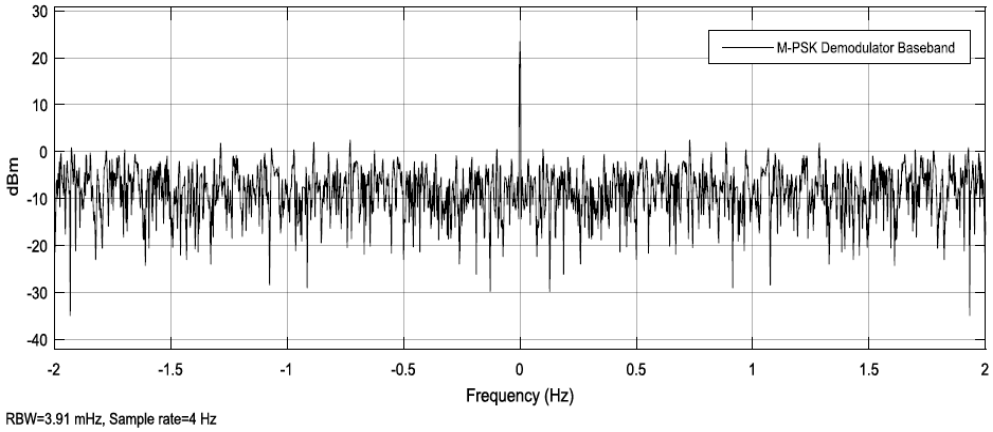


Рис. 3. Спектр демодулированного сигнала при $\frac{E_b}{N_0} = 10$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеев, С. Н. Влияние быстрых релеевских замираний и частотного рассогласования частот субканалов приема и передачи на характеристики OFDM – сигналов / С. Н. Елисеев, Л. Н. Филимонова // Физика волновых процессов. – 2022. – Т. 25, № 2. – С. 67 – 72.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR OFDM

Filimonova L. N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper presents a simulation model for studying OFDM technology.

In addition, the demodulated signal spectra obtained through simulation are presented. The results indicate that increasing the parameter $\frac{E_b}{N_0}$ also increases the BER.

УДК 621.39

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ И ТИПОВЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Насырова В.А., Иванов А.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

Проектирование сетей связи сопровождается значительными временными и финансовыми затратами. Основные причины задержек связаны с необходимостью многочисленных согласований, ручных правок и проверки документации, отсутствием типовых решений и стандартов, что приводит к росту числа ошибок и увеличению сроков сдачи проекта [1]. Для оптимизации процесса проектирования необходимо переходить на цифровые методы, автоматизировать процесс разработки и использовать типовые проектные решения, которые позволят уменьшить трудозатраты и сократят время выполнения однотипных задач.

Оптимизация процессов проектирования требует системного перехода к цифровым методам, внедрения автоматизированных систем и применения типовых проектных решений. В современной практике проектирования всё более актуальным становится применение технологий информационного моделирования BIM (англ. Building Information Model). Использование BIM на законодательном уровне в России было закреплено постановлением правительства РФ № 331 от марта 2021 года, которое установило обязательное применение BIM-технологий для всех объектов госзаказа с 1 января 2022 года. С 1 июля 2024 года это требование распространилось на застройщиков при реализации проектов долевого строительства, а с января 2025 года — на малоэтажные здания. Цель данного подхода — обеспечить прозрачность проектных решений, повысить качество проектирования и упростить управление жизненным циклом объекта [2].

BIM-системы предоставляют инструменты, позволяющие ускорить проектирование, в них входит:

- автоматическая проверка моделей на коллизии;
- использование библиотек готовых компонентов;
- интеграция инженерных расчетов в модель;
- мгновенное обновление всей документации при изменении параметров проекта.

Важным дополнением к BIM-технологиям становятся гайдбуки типовых решений. Они представляют собой систематизированные библиотеки узлов и компонентов, которые можно многократно применять при проектировании. Их использование:

- ускоряет процесс проектирования за счет готовых моделей;
- снижает вероятность ошибок за счет применения проверенных решений;
- позволяет сосредоточиться на уникальных аспектах проекта, автоматизируя рутинные задачи.

В качестве примера применения гайдбука можно привести компанию Eltex, которая выпускает комплекс готовых решений для построения телекоммуникационных сетей, ориентированных на корпоративных клиентов, государственные структуры и операторов связи [3]. Данные решения структурированы по четырем функциональным категориям: широкополосный доступ, пассивные оптические сети (PON), беспроводные сети и системы видеонаблюдения.

На основе данного подхода планируется разработка специализированного гайдбука типовых решений с использованием оборудования «Полигон». Данная компания производит высокотехнологичное радиоэлектронное и телекоммуникационное оборудование для нужд операторов связи, ведомственных структур, органов государственной власти и других заказчиков. Внедрение подобного инструментария предоставит проектировщикам возможность интеграции готовых моделей оборудования в BIM-системы и оперативного формирования проектных решений.

Реализация данной работы планируется в программной среде nanoCAD – отечественном BIM-решении для построения цифровых моделей. Этот программный комплекс предоставляет полноценную платформу для создания информационных моделей зданий и сооружений, включая инженерные системы и телекоммуникационные сети [4].

В качестве результата работы планируется сформировать элементную базу телекоммуникационного оборудования «Полигон» и разработать модуль в программной среде nanoCAD для формирования ЦОД на базе типовых решений, что существенно ускорит и удешевит процесс проектирования и разработки телекоммуникационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербакова Е.Н. Актуальные вопросы построения сети связи общего пользования в России // T-Comm: Телеконинуникации и транспорт. 2017. Том II. №9. С. 43-47.

2. Design guide компании Eltex [Электронный ресурс] / URL: https://docs.eltex-co.ru/display/dg/Eltex.Guides

3. BIM-технологии (Рынок России) [Электронный ресурс] / URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:BIM-технологии_(рынок_России)

4. Официальная страница NanoCAD BIM [Электронный ресурс] / URL: https://www.nanocad.ru/products/bim/stroitelstvo/

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES AND TYPICAL DESIGN SOLUTIONS IN DESIGN OF COMMUNICATION NETWORKS

Nasyrova V.A., Ivanov A.A.
(Ufa University of Science and Technology)

The article discusses the problems of designing communication networks and ways to solve them using BIM technologies, automation, and standard design solutions.

УДК 621.375.0.26

МИКРОСХЕМА МАЛОШУМЯЩЕГО ТРЁХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ С – ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНЗИСТОРОВ С ДВОЙНЫМ ЗАТВОРОМ НА ТЕХНОЛОГИИ PHEMT05D

Абдрахманова А.Б., Васильев А.Н.
(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Малошумящие усилители мощности (МШУ) имеют способность усиливать полезный сигнал при этом добавляя минимальные искажения. Благодаря этому их применение распространилось на огромное количество областей: радиоастрономия, сотовая и беспроводная связь, навигация и т.д. При проектировании МШУ главной задачей стоит обеспечить такие характеристики, как высокий коэффициент усиления и низкий коэффициент шума в диапазоне рабочих частот.

В данной работе использовалась трёхкаскадная схема малошумящего усилителя с использованием транзисторов с двойным затвором. Такие транзисторы имеют преимущество в управлении усилением, улучшением линейности, а также имеют эффективное подавление паразитной емкостной связи. Применение схемы усилителя бегущей волны, строящейся на одинаковых каскадах, позволяет нам получить широкий диапазон работы устройства, уменьшить влияние потерь в выходной линии, что положительно влияет на согласование в цепи. Структурная схема, описанная выше, представлена на рис. 1.

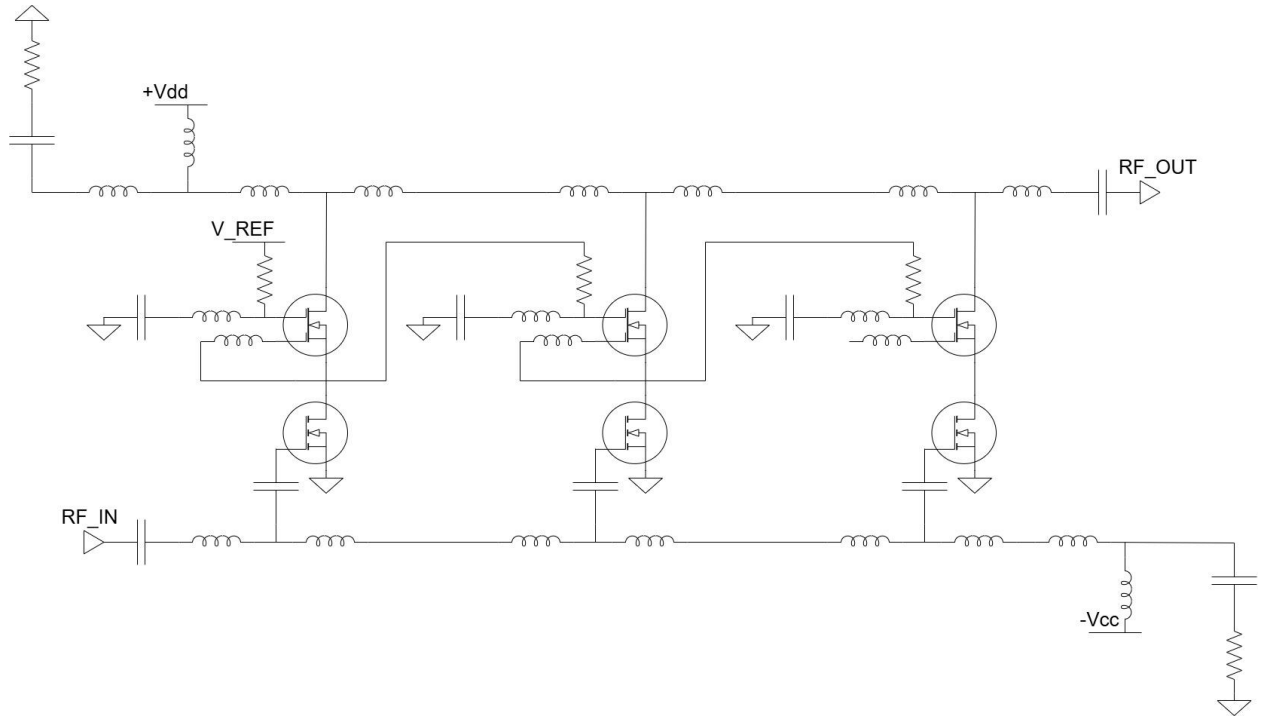


Рис. 1. Структурная схема малошумящего трёхкаскадного усилителя

После моделирования проекта в среде AWR на технологическом процессе GaAs pHEMT05D от компании АО «Светлана-Рост», полученное МШУ имело параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики малошумящего трехкаскадного усилителя

Параметр	Значение
Питание микросхемы, В	3.3
Рабочий диапазон частот, ГГц	1 – 8
Коэффициент передачи S_{21}, дБ	> 15
Коэффициент отражения S_{11} и S_{22}, дБ	< -15
Коэффициент устойчивости К, дБ	> 3.5
Коэффициент шума $К_{ш}$, дБ	> 1.5
Размеры кристалла, мм	2,6 X 2,2

Чтобы говорить о достоверных параметрах малошумящего усилителя на технологическом процессе GaAs pHEMT05D, необходимо провести измерения изготовленной микросхемы на зондовой станции.

Проект выполнен на базе технологического сервиса MPW, при поддержке Базового центра подготовки кадров для микроэлектроники НИУ МИЭТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. Razavi RF Microelectronics Second Edition 2012. 255 - 333 p.

2. M. El Bakkali et al. High gain 0.18 μm-GaAs MMIC cascode-distributed low-noise amplifier for UWB application // Microelectronics Journal 108, 104970, 2021. - 7p.

3. Комаров С.Н. СВЧ усилители бегущей волны // Технологии информационного общества, 2011. 93-94 с.

A THREE-STAGE LOW-NOISE AMPLIFIER (LNA) OF THE C – FREQUENCY RANGE WITH DOUBLE-GATE TRANSISTORS BASED ON PHEMT05D TECHNOLOGY

Abdrakhmanova A.B., Vasilev A.N.
(National Research University "MIET")

Low-noise power amplifiers (LMS) have the ability to amplify a radio signal while adding a minimal distortion. Due to this, their application has spread to a huge number of fields: radio astronomy, cellular and wireless communication, navigation etc. This paper presents a design of 1 – 8 GHz Three-stage LNA with power gain 15 dB and noise figure of 1.5 dB. The input and output reflection coefficient is -15dB.

УДК 621.3.049.77

МШУ С САМОСМЕЩЕНИЕМ В ДИАПАЗОНЕ 5-12 ГГЦ ПО ТЕХНОЛОГИИ GAAS 0,5 МКМ

Пустоветов Д.Ю.
(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Развитие систем связи и радиолокации требует создания широкополосных малошумящих усилителей (МШУ), отличающихся высокой воспроизводимостью, минимальной номенклатурой напряжений смещения и низкой стоимостью. Традиционные схемы смещения на основе резисторных делителей чувствительны к разбросу параметров транзисторов и температурной нестабильности, что усложняет проектирование и настройку.

В основе усилителя лежит двухкаскадная схема с общим истоком (рис. 1). Ключевой особенностью разработанной схемы является применение цепи самосмещения (self-bias), что позволило исключить необходимость во внешнем источнике отрицательного напряжения смещения и стабилизировать рабочую точку транзистора при изменении температуры и технологического разброса параметров.

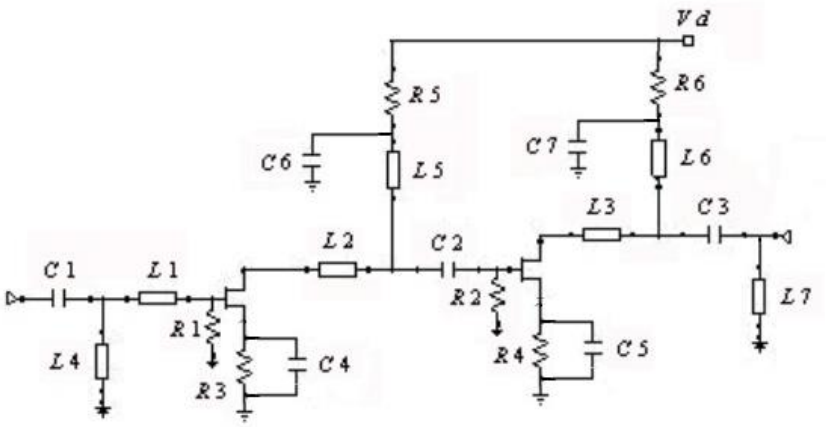


Рис. 1. Двухкаскадная схема МШУ с общим истоком

Проведен анализ устойчивости, оптимизация коэффициента шума и коэффициента усиления в заданной полосе частот. Проверена устойчивость усилителя (коэффициент устойчивости K > 1 во всем рабочем диапазоне). Результаты моделирования получившейся микросхемы малошумящего усилителя в среде AWR по технологии pHEMT05D представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики микросхемы малошумящего усилителя

Параметры	*Значение*
Рабочий диапазон частот, ГГц	5 – 12
Коэффициент передачи $S_{21,}$ дБ	18
Коэффициент отражения S_{11} и S_{22}, дБ	-15
Коэффициент шума NF, дБ	2,7
Точка компрессии P_{1dB}, дБм	+ 12
Напряжение питания, В	+ 3
Потребляемый ток, мА	105

Чтобы составить полную картину по технологическому процессу GaAs pHEMT05D компании АО «Светлана-Рост» необходимо провести измерения изготовленной микросхемы.

Проект выполнен на базе технологического сервиса MPW, при поддержке Базового центра подготовки кадров для микроэлектроники НИУ МИЭТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Behzad Razavi RF microelectronics Second Edition / Prentice Hall – 2011. P. 946.

2. Inder J. Bahl Fundamentals of RF and Microwave Transistor Amplifiers / John Wiley & Sons – 2009. P. 678.

3. Гнатюк Д. Л. Монолитные интегральные схемы малошумящих усилителей КВЧ-диапазона на GaAs pHEMT-гетероструктурах / Д. Л. Гнатюк [и др.] // Доклады ТУСУР. – 2010. – № 2(22). – Ч. 1. – С. 49–55.

A SELF-BIASED LNA IN THE 5-12 GHZ RANGE USING GAAS 0.5 MM TECHNOLOGY

Pustovetov D.Y.

(National Research University «MIET»)

The development of communication and radar systems requires the creation of broadband, low-noise amplifiers (LNAs) characterized by high reproducibility, minimal bias voltage requirements, and low cost. Traditional bias circuits based on resistor dividers are sensitive to transistor parameter variations and temperature instability, which complicates design and tuning.

УДК 621.3.049.77

МИКРОСХЕМА ШЕСТИРАЗРЯДНОГО ЦИФРОВОГО АТТЕНЮАТОРА С-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РНЕМТ С МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНОЙ ЗАТВОРА 0,5 МКМ

Федькин Е.В., Васильев А.Н.
(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Микросхемы цифровых аттенюаторов предназначены для регулируемого ослабления высокочастотных сигналов с минимальными искажениями их формы. Цель данной работы было спроектировать микросхему цифрового аттенюатора с минимальными значениями вносимых потерь в опорном состоянии, фазовой и амплитудной ошибки при обеспечении требуемых диапазона и шага ослабления. Для обеспечения широкого динамического диапазона используется схема из шести каскадов.

Выбор топологии аттенюатора определялся величиной требуемого ослабления. Для малых значений (≤ 2 дБ) применялась Т-образная схема (рис. 1), которая используется из-за простоты и обеспечивает лучшую импедансную стабильность. Для больших значений (≥4 дБ) использовалась П-образная схема (рис. 1), предлагающая большую гибкость в выборе номиналов резисторов для широкого диапазона ослаблений.

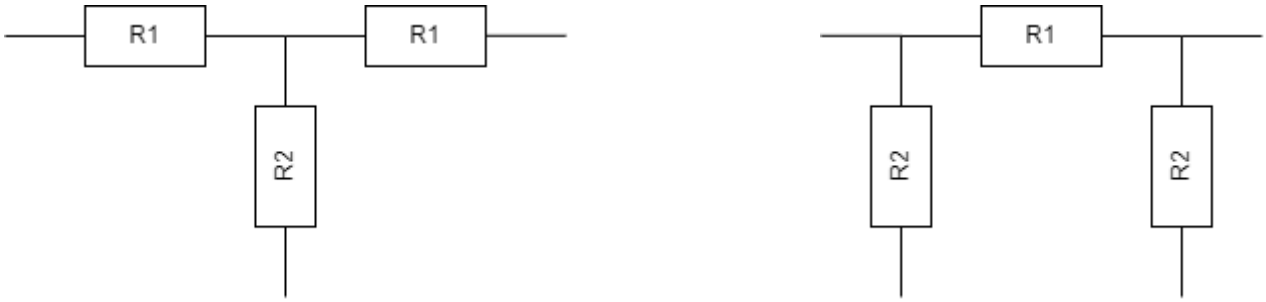


Рис. 2. Т- и П-образные схемы аттенюатора

В процессе моделирования были получены параметры шести секций аттенюатора. Так как порядок включения влияет на характеристики, мы провели анализ различных комбинаций их положения в составе микросхемы. В результате была выбрана схема с оптимальными параметрами. Результаты моделирования получившейся микросхемы цифрового аттенюатора в среде AWR по технологии pHEMT05D представлены в таблице 1.

Таблица 2

Характеристики микросхемы шестиразрядного цифрового аттенюатора

Параметры	*Значение*
Рабочий диапазон частот, ГГц	0,5 – 8
Коэффициент передачи (в опорном состоянии) S_{21}, дБ	-5
Коэффициент отражения S_{11} и S_{22}, дБ	-12
Диапазон ослабления, дБ	31,5
Шаг ослабления, дБ	0,5
СКО по амплитуде, дБ	≥ 1,5
СКО по фазе, град	≥ 7
Точка P_{1dB}, дБм	+ 26

Чтобы составить полную картину по технологическому процессу GaAs pHEMT05D компании АО «Светлана-Рост» необходимо провести измерения изготовленной микросхемы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания №075-03-2024-061 от 17 января 2024 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inder J. Bahl Control Components Using Si, GaAs and GaN Technologies. - Artech House, Boston/London. 214.

2. В.Кочемасов, к.т.н., Л.Белов, к.т.н. Аттенюаторы с электронным управлением – производители и характеристики // СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА -2017 – №4 – с. 82-95

3. И. М. Добуш, Ф. И. Шеерман, Л. И. Бабак, Ю. А. Светличный Интегральная схема управляемого цифрового аттенюатора диапазона 0.1-4.5 ГГц на основе технологии кремний-германий // ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА - 2019 - №2 – С. 39-48

A SIX-BIT C-BAND DIGITAL ATTENUATOR IC BASED ON PHEMT TECHNOLOGY WITH A MINIMUM GATE WIDTH OF 0.5 μM

Fedkin E.V., Vasiliev A.N.

(National Research University «MIET»)

Digital attenuator circuits are designed for adjustable attenuation of high-frequency signals with minimal distortion of their shape. The purpose of this work was to design a digital attenuator circuit with minimal values of insertion loss in the reference state, phase and amplitude error while providing the required range and attenuation step. A six-cascade circuit is used to provide a wide dynamic range.

УДК 621.216.0.26

МИКРОСХЕМА ТРЕХРАЗРЯДНОГО ЦИФРОВОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ S-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ PHEMT С МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНОЙ ЗАТВОРА 0.5 МКМ

Гуртякова Д.А., Васильев А.Н.
(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Микросхемы цифровых фазовращателей (ФВ) S-диапазона частот (2-4 ГГц) активно используются в радиотехнической аппаратуре, особенно в радиолокации и цифровой обработке сигналов. К ФВ предъявляются основные требования: фазовый сдвиг, фазовая ошибка, вносимые потери и шаг перестройки.

В контексте данной работы рассмотрен процесс разработки цифрового ФВ с тремя разрядами 45, 90 и 180 градусов с применением современных САПРов. Разработка микросхемы ФВ велась с использованием программного обеспечения (ПО) от компании 50ohm Technologies, основанного на работе методов искусственного интеллекта. В ПО задаются требования к разрабатываемой секции ФВ, программа синтезирует схемное решение под требуемый технологический процесс. При проектировании использовалась библиотека моделей нормально открытых транзисторов с высокой подвижностью электронов «pHEMT0.5D» компании АО «Светлана-Рост».

В результате проектирования получены параметры трех секций ФВ. Были рассмотрены различные варианты расположения секций и был выбран оптимальный порядок секций с наилучшими характеристиками. Результаты расчетов представлены в Таблице 1. Ширина затвора транзисторов в данной библиотеке составляет 0,5 мкм.

Таблица 1

Параметры ФВ

Параметр	**Значение**
Рабочий диапазон частот, ГГц	2 - 4
Фазовая ошибка, дБ	не более 5
Вносимые потери, дБ	2 - 4

Таким образом, полученные в ходе расчета характеристики ФВ на основе технологического процесса «pHEMT0.5D» АО «Светлана-Рост» удовлетворяют требованиям для применения в радиолокационных системах S-диапазона частот. Для подтверждения результатов необходимо провести измерения готового кристалла ФВ.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания №075-03-2024-061 от 17 января 2024 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inder J. Bahl Control Components Using Si, GaAs and GaN Technologies. - Artech House, Boston/London. 214.

2. Zhang J., Cheung S. W., Yuk T. I. A Compact 6-bit Phase Shifter with High-Power Capacity Based on Composite Right/Left-Handed Transmission Line. // Proc. of the 40th European Microwave Conference, September 2010, Paris, France. PP. 437–440.

A THREE-BIT DIGITAL PHASE SHIFTER MICROCIRCUIT S-FREQUENCY RANGE ON PHEMT TECHNOLOGY WITH A MINIMUM GATE WIDTH OF 0.5 μM

Gurtyakova D.A., Vasiliev A.N.
(National Research University "MIET")

Microcircuits of digital phase shifters (PSH) of S-band frequencies (2-4 GHz) are actively used in radio engineering equipment, especially in radar and digital signal processing. The following basic requirements are imposed on PSH: phase shift, phase error, insertion loss and tuning step.

УДК 004.8.

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ - БИОКОМПЬЮТЕРЫ

Галочкин В.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Развитие биотехнологий имеет богатую историю – от 8000 г до нашей эры и до наших дней [1]. В настоящее время с развитием современных технологий и искусственного интеллекта это направление приобрело особое значение. Во всем мире ведутся работы по использованию элементов мозга (нейронов) в сочетании с компьютерными технологиями, например, работа [2]. Такое сочетание, т. е. разработка биокомпьютеров, направлено на повышение эффективности обработки информации, на повышение возможностей использования электроники в разработках по развитию и обучению ИИ, по ускорению и расширению разработок по созданию новых лекарств, по исследованию заболеваний, по совершенствованию самих компьютерных систем. Применение нейронов в сочетании с компьютером позволяет резко повысить скорость обработки информации и одновременно резко сократить потребляемую (достаточно большую) электроэнергию.

Представляет интерес публикация [3], где сообщается о создании полноценного биокомпьютера, построенного на традиционных кремниевых элементах в сочетании с нейронами – стволовыми клетками, снабженными элементами поддержания их жизнедеятельности. Суть работы и принцип построения данной версии биокомпьютера кардинально отличается от известных, где используются связи нейронов как управляемых ключей с элементами процессора. В данной разработке применен прием «обучения» нейронов получению «правильной» реакции на требование нахождения необходимых, оптимальных связей в структуре для получения правильного конечного результата. При этом обеспечивается взаимосвязь нейронов между собой, что схоже с работой нейронов в человеческом мозге. В результате реализован действующий биокомпьютер, в котором за счет симбиоза «клетки мозга –электроника» обеспечен процесс самообучения, реализовано выполнение вычислительных задач при резком сокращении потребляемой электроэнергии. Работа, естественно, не закончена. Разработчики, создав коммерческую версию биокомпьютера, хотят испытать его работу в условиях общения с потребителями, набраться опыта общения «человек – искусственный мозг».

Работы по созданию биокомпьютеров пока далеки от полноценной практической реализации: трудности технического плана (например, обеспечение длительного времени жизнедеятельности нейронов), сочетаются с дискуссионными вопросами этического направления – в обществе пока не решен вопрос безопасности создания искусственного сознания.

Предстоит еще большая работа по решению многочисленных проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хронология биотехнологии. [Электронный ресурс] / URL: https://ru. wikipedia.org/wiki/ Хронология биотехнологии (дата обращения: 01.10.2025).

2. Джулиан Кох, Сильван Гантенбайн, Кунал Масаниа, Венделин Й. Старк, Янив Эрлих, Роберт Н. Грасс*. Архитектура хранения данных DNA-of-things для создания материалов со встроенной памятью. [Электронный ресурс] / URL: https:// research. tudelft. nl/en/ pub lications/a-dna-of-things-storage-architec ture-to-create-materials-with-emb (дата обращения: 01.10.2025).

3. Cortical Labs запустила первый «биологический компьютер» на основе живых клеток мозга. [Электронный ресурс] / URL: https://habr.com/ru/ news/ 888414/ (дата обращения: 01.10.2025).

A NEW DIRECTION IN ELECTRONICS DEVELOPMENT – BIOCOMPUTERS

Galochkin V.A.

(*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics*)

One of the most important areas of electronics development is biotechnology, and in particular, the possibility of creating a biocomputer, a device that combines elements of brain cells (neurons) with a computer. The commercial version of the biocomputer under consideration uses the technique of "training" neurons to obtain the "correct" answer to the requirement of finding the necessary, optimal connections in the structure to achieve the correct final result.

УДК 621.391.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ С УЧЕТОМ НЕИДЕАЛЬНОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Гречишников Н.В., Морозов С.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С ростом рабочих частот и плотности монтажа радиоэлектронной аппаратуры проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) становится все более острой. Кабельные линии часто являются одним из основных каналов проникновения и распространения электромагнитных помех. Эффективность экранирования кабеля, являющаяся ключевым параметром его помехозащищенности, существенно зависит от конструкции экрана, его целостности и способа заделки, особенно в расширенном диапазоне частот [1].

Целью настоящей работы является постановка задачи исследования эффективности экранирования коаксиальных и многожильных кабелей с комбинированными (например, оплетка плюс фольга) и неидеальными экранами. Под неидеальностями понимаются такие конструктивные особенности, как конечная плотность оплетки, наличие шва в фольгированном экране, а также неидеальная заделка экрана на разъемы (т.н. «косички» или pigtails).

Для достижения поставленной цели предполагается использовать метод численного моделирования в САПР электродинамического анализа Altair FEKO. Будет разработана параметрическая модель отрезка кабеля, позволяющая варьировать такие параметры, как плотность оплетки, угол навивки, наличие и размер зазоров в экране. В качестве критериев эффективности будут рассматриваться передаточный импеданс и эффективность экранирования (1) при падении на кабель плоской электромагнитной волны.

$$SE\left(\text{дБ}\right) = 20\lg\left(\frac{E_0}{E_1}\right), \qquad (1)$$

где E_0 и E_1 — напряженности поля снаружи и внутри экрана.

На первом этапе будет создана модель одножильного экранированного кабеля, результаты моделирования для которой будут сопоставлены с известными аналитическими и экспериментальными данными для верификации подхода [2]. На последующих этапах модель будет усложнена для учета комбинированных экранов и неидеальностей заделки.

Для численного анализа будет создана модель коаксиального кабеля с комбинированным экраном (Рис. 1), состоящим из слоя фольги и плотной оплетки. Такая структура является типовой для высокочастотных кабелей, требующих повышенной помехозащищенности.

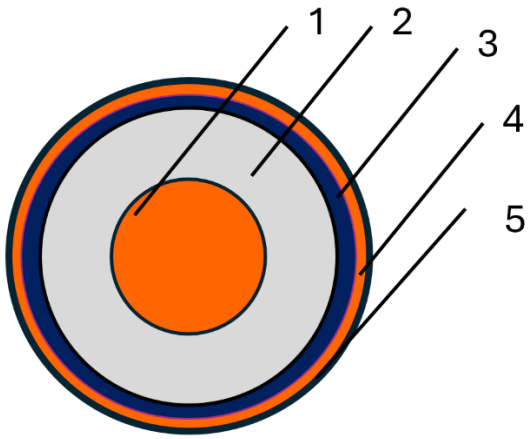


Рис. 1. Поперечное сечение моделируемого коаксиального кабеля с комбинированным экраном: 1 – центральный проводник; 2 – диэлектрик; 3 – внутренний экран (оплетка); 4 – внешний экран (фольга); 5 – внешняя оболочка

Ожидается, что результаты работы позволят получить количественные оценки снижения эффективности экранирования в зависимости от типа и величины неидеальностей, что даст возможность сформулировать практические рекомендации по выбору и монтажу кабелей для высокочастотных приложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречишников Н.В., Морозов С.В., Рогожникова А.В. Моделирование случая падения плоской электромагнитной волны на экранированный кабель // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи. Материалы XXXII Российской научно-технической конференции. Самара, 2025. С. 189-191.

2. Гречишников Н.В., Можарова А.В., Морозов С.В. Электродинамический анализ неэкранированного одножильного кабеля // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024. Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 127-128.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF CABLE SHIELDING, TAKING INTO ACCOUNT DESIGN IMPERFECTIONS

Grechishnikov N.V., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper states the problem of investigating the shielding effectiveness of cables with combined and non-ideal shields. The relevance of the problem is due to the growing demands on the electromagnetic compatibility of modern electronic equipment. It is proposed to use full-wave numerical simulation in Altair FEKO to analyze the influence of shield imperfections, such as finite braid density and improper termination, on the shielding effectiveness in an extended frequency range. The expected results will provide quantitative assessments and practical recommendations for cable selection and installation.

УДК 621.372.8

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И МИНИМИЗАЦИИ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ В МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

Климов Е.В., Морозов С.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные высокоскоростные цифровые устройства характеризуются высокой плотностью монтажа и скоростями передачи данных, достигающими десятков Гбит/с. В таких условиях печатные проводники на платах ведут себя как связанные линии передачи, между которыми возникают перекрестные помехи. Анализ таких связанных структур является сложной электродинамической задачей, для решения которой могут применяться различные подходы, в том числе и строгие методы, основанные на интегральных представлениях поля [1]. Поиск путей минимизации этих помех является ключевой задачей при проектировании печатных плат.

Целью данной работы является постановка задачи анализа и минимизации перекрестных помех в многопроводных микрополосковых линиях, являющихся типовой структурой для печатных плат. Исследование будет сфокусировано на двух основных механизмах возникновения помех: емкостной и индуктивной связи. Как показано на рис. 1, взаимная емкость (Cm) и взаимная индуктивность (Lm) между линией-агрессором и линией-жертвой порождают паразитные токи. Эти токи, распространяясь к концам линии-жертвы, создают прямую и обратную помехи, которые и являются предметом анализа в данной работе.

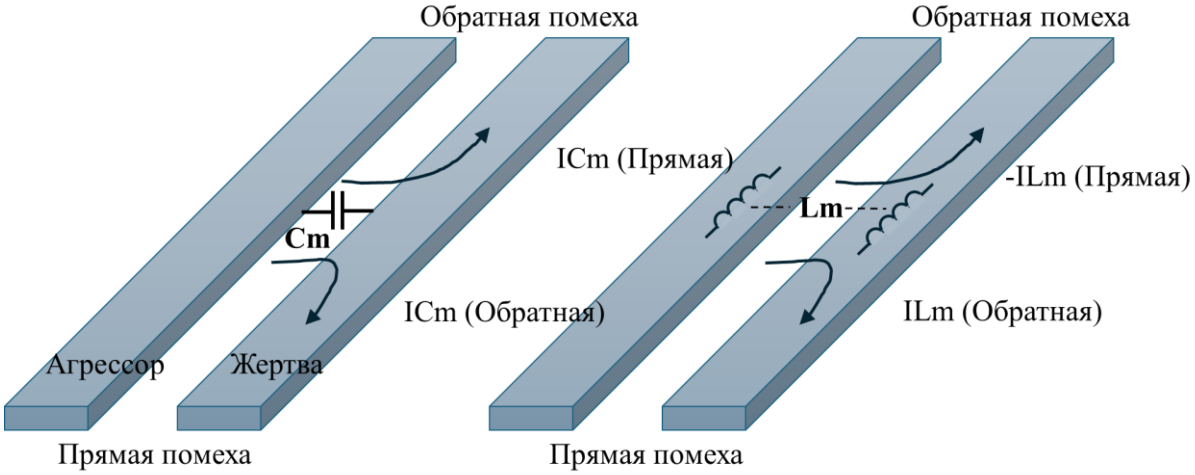


Рис. 1. Физические механизмы возникновения перекрестных помех в связанных линиях передачи: а) емкостная связь, порождающая токи помехи ICm; б) индуктивная связь, порождающая токи помехи ILm

Для решения поставленной задачи планируется применение численного электродинамического моделирования. На первом этапе будет создана 3D-

модель двух связанных микрополосковых линий в САПР Altair FEKO. С использованием данной модели будет проведен анализ влияния ключевых геометрических и электрических параметров на уровень перекрестных помех:

- Расстояние между проводниками;
- Толщина и диэлектрическая проницаемость подложки;
- Длина участка связи.

На основе анализа будут исследованы методы минимизации помех, такие как увеличение зазора между сигнальными линиями, использование защитных проводников и применение дифференциальных пар. Полученные в ходе моделирования S-параметры структуры позволят количественно оценить эффективность каждого из подходов.

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания методической базы для инженеров-проектировщиков, позволяющей на ранних этапах разработки прогнозировать и снижать уровень перекрестных помех в высокоскоростных цифровых устройствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Морозов С.В., Клюев Д.С. Применение тонкопроволочного интегрального представления электромагнитного поля к решению задачи дифракции электромагнитных волн на проводящих телах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2022. Т. 25. № 2. С. 7-14.

SETTING THE TASK OF ANALYZING AND MINIMIZING CROSSTALK IN MULTI-WIRE TRANSMISSION LINES

Klimov E.V., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper addresses the problem of analyzing and minimizing crosstalk in multi-conductor microstrip lines, which is critical for high-speed digital devices. The goal is to investigate the influence of geometrical and material properties on near-end (NEXT) and far-end (FEXT) crosstalk using full-wave simulation in Altair FEKO. Methods for crosstalk reduction, such as trace spacing optimization and the use of guard traces, will be explored. This research aims to provide a basis for developing design guidelines to ensure signal integrity in modern printed circuit boards.

УДК 004.412

ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ ИТ-ПРОЕКТОВ

Диязитдинова А. Р.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Оценка стоимости проекта по разработке программного продукта (ПП) осуществляется в двух плоскостях: времени (трудозатратах) и стоимости. Переход из одной плоскости в другую происходит путем умножения трудоемкости на стоимость часа специалиста. Поэтому оценка трудоемкости и стоимости создания ПП является актуальной задачей. Значительный вклад в исследование вопроса внес Барри Боэм (Barry Boehm), классифицировавший основные алгоритмы определения затрат (метод экспертных оценок, аналогий, алгоритмического моделирования, функциональных точек, модель SLIM и пр.). Но, несмотря на наличие значительного количества методов, основное распространение получили два метода: метод функциональных точек и метод COCOMOII, последний из которых характеризуется повышенной сложностью расчета.

Анализ рынка ПО показал, что ПП, позволяющих оценить трудоемкость будущего ИТ-проекта, весьма незначительно. На рынке довольно много информационных систем управления проектами (Битрикс24, GanttPRO, Directum Projects, 1С:Управление проектами и т.д.) и систем task-трекеров (WEEEK, Kaiten, LeaderTask), но в них отсутствует механизм моделирования оценки стоимости проекта (исключением с некоторой натяжкой можно назвать MS Project, где применяется метод PERT). Моделирование в основном представляет собой создание пробной обобщенной иерархической структуры работ с назначением ресурсов и подсчетов стоимости затрат и времени как результата. В ходе анализа были выделены несколько ПП, обладающих предпочтительным функционалом оценки стоимости и трудоемкости проектов (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение систем оценки трудоемкости и стоимости проектов

Критерии	Программные продукты			
	Estimate Platform	Проект с «Github»	Кальку-ляторы	Project Calc
Применяемые методики оценки	Две: PERT, диапазон min max	Три: PERT, COCOMO II, FPA	Одна	Одна
Возможность расчета длительности проекта	+	+	+	+
Расчет стоимости проекта	+	+	–	+
Учет рисков	+	–	–	+
Возможность назначения ответственного за задачу	+	–	–	+

Критерии	Программные продукты			
	Estimate Platform	Проект с «Github»	Кальку-ляторы	Project Calc
Расчет трудоемкости для отдельных задач	+	–	–	+/–
Выполнение сравнительного анализа по проектам	–	–	–	+

Таким образом, можно выделить следующие функциональные требования к системе оценки трудоемкости и стоимости ИТ-проектов:

- поддержка возможности расчета трудоемкости с помощью нескольких методик (FPA, COCOMO II, PERT);
- поддержка возможности оценки стоимости проекта на основании ставки исполнителя (поддержка связки трудоемкости с компетенцией исполнителя и сложности задачи);
- поддержка учета сложности задачи (например, за счет весовых коэффициентов);
- возможность визуализации полученных результатов трудоемкости и стоимости проекта;
- поддержка возможности проведения ретроспективного анализа проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диязитдинова А. Р., Женгурова В. В. Разработка модуля СППР при формировании сметы для клиентов ИТ-компании // Инфокоммуникационные технологии. 2023. Т. 21. № 1. С. 95-103.
2. Ваганова Е. В., Земцов А. А., Миньков С. Л. Оценка стоимости разработки программного продукта: обзор // Проблемы учета и финансов, №1(21), 2016, с. 58 – 62.

SOFTWARE REVIEW FOR LABOR INTENSITY ESTIMATION OF IT-APPLICATION DEVELOPMENT

Diyazitdinova A. R.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the software review for labor intensity estimation. Also a list of functional requirements is presented for objective assessment of software development.

УДК 621.37

СХЕМА ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Степанов И.В., Иванов В.В., Воронков Г.С., Султанов А.Х.
(Уфимский университет науки и технологий)

Перспективным решением для генерации сверхвысокочастотных (СВЧ) колебаний является схема оптоэлектронного осциллятора (ОЭО) [1]. Однако измерение и контроль частоты генерируемых СВЧ-колебаний является сложной с точки зрения реализации задачей ввиду необходимости применения СВЧ-компонентов. Логичным решением данной проблемы является применение схем понижения частоты.

Возможный вариант реализации ОЭО со схемой понижения частоты представлен на рис. 1.

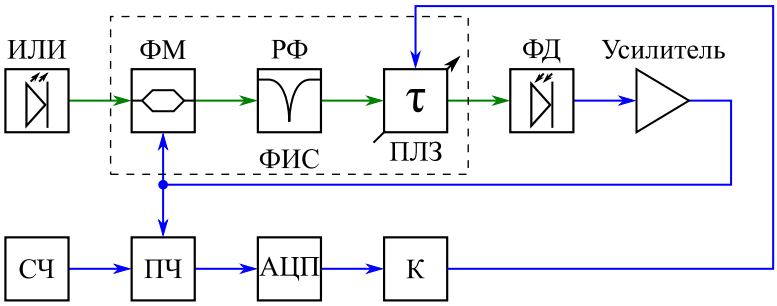


Рис. 1. ОЭО со схемой понижения и контроля частоты: ИЛИ – источник лазерного излучения; ФМ – фазовый модулятор; РФ – режекторный фильтр; ФИС – фотонная интегральная схема; ПЛЗ – перестраиваемая линия задержки; ФД – фотодетектор; СЧ – синтезатор частоты; ПЧ – преобразователь частоты; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; К – контроллер. Зелёным цветом показаны оптические сигналы, синим – электрические

Принцип работы ОЭО основан на биении оптических поднесущих [2]. В случае представленной схемы для регулировки частоты ОЭО с малым шагом используется интегральная оптическая линия задержки (ПЛЗ на рис. 1) [3]. Преобразователь частоты (ПЧ) используется для понижения частоты сигнала на выходе ОЭО $f_{ОЭО}$:

$$f_{ПЧ} = |f_{СЧ} - f_{ОЭО}|,$$

где $f_{ПЧ}$ – частота сигнала на выходе ПЧ, $f_{СЧ}$ – постоянная частота на выходе синтезатора частоты (СЧ).

Аналого-цифровой преобразователь позволяет измерить частоту колебания на выходе ПЧ и передать измеренное значение на контроллер. В последнем происходит вычисление значения $f_{ОЭО}$ и сравнивается с требуемым. При отклонении значения $f_{ОЭО}$ от требуемого, контроллер посылает управляющий сигнал на перестраиваемую линию задержки, что приводит к изменению фазового набега в оптической части петли обратной связи ОЭО и

соответствующему изменению частоты на его выходе. Таким образом происходит коррекция частоты СВЧ-колебания на выходе ОЭО.

Стоит отметить, что предложенный подход может быть применён для «грубой» подстройки частоты в случае подачи управляющего сигнала с контроллера на режекторный фильтр. Однако такая подстройка будет приводить к перезапуску процесса генерации сигнала ввиду нарушения условия баланса амплитуд. В случае «тонкой» подстройки с использованием перестраиваемой линии задержки возможно изменение частоты в малых пределах без перезапуска процесса генерации частоты за счёт изменения условия баланса фаз. Соответственно, скорость подстройки частоты будет ограничиваться конструкцией линии задержки и быстродействием электронной части.

В результате, предложенный подход совместно с технологиями интегральной фотоники и гибридной интеграции может быть использован для создания новых компактных высокостабильных генераторов СВЧ-колебаний в широком диапазоне частот.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zou F. и др. Optoelectronic oscillator for 5G wireless networks and beyond // J. Phys. D: Appl. Phys. 2021. Т. 54, № 42. С. 423002.
2. Yao X.S., Maleki L. Optoelectronic oscillator for photonic systems // IEEE J. Quantum Electron. 1996. Т. 32, № 7. С. 1141–1149.
3. Ivanov V. и др. An Approach to Reduce Tuning Sensitivity in the PIC-Based Optoelectronic Oscillator by Controlling the Phase Shift in Its Feedback Loop // Micromachines. 2024. Т. 16, № 1. С. 32.

OPTOELECTRONIC OSCILLATOR FREQUENCY ADJUSTMENT CIRCUIT

Stepanov I.V., Ivanov V.V., Voronkov G.S., Sultanov A. Kh.
(Ufa University of Science and Technology)

In this article we present an ultrahigh frequency generator based on an optoelectronic oscillator with frequency downconversion scheme. The last one reduces the output optoelectronic oscillator frequency value and provides its’ output frequency control that allows to reduce generator’s complexity and cost.

УДК 621.3.011.7

ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАБОЙНЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Суханов Д. В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Объектом исследования является забойная телеметрическая система, подобная, например, ЗИС-4 разработки АО НПП «ВНИИГИС» [1]. Полоса полезного сигнала в разных режимах работы лежит в диапазоне частот 0,625÷10,2 Гц. При доработке цифровой части приёмника, реализованной в виде программы для ПК, возникла необходимость перепроектирования подсистемы синхронизации. Введено предположение, что тактовая синхронизация успешно осуществлена с учётом поправки на несовпадение частот тактовых генераторов передатчика и приёмника. Отношение главного пика к максимальному боковому выбросу (после усреднения по 2-м реализациям синхросигнала), без учёта постоянной составляющей элементарного сигнала, оказалось равно (6,5328+6,6551)/2=6,5939. С учётом её компенсации, проведённой для каждого элементарного сигнала в отдельности, это отношение стало равно (6,5423+6,6409)/2=6,5916. На графиках приведены два случая вычисления апериодической АКФ (ААКФ), вычисляемой по формуле [2]:

$$\rho_a(m)=\begin{cases}\dfrac{1}{\|a\|^2}\displaystyle\sum_{i=m}^{N-1}a_i a_{i-m}^{*}, & m\geq 0,\\ \dfrac{1}{\|a\|^2}\displaystyle\sum_{i=0}^{N-1+m}a_i a_{i-m}^{*}, & m<0.\end{cases}$$

Результат работы синхронизатора с сигналом до внесения корректировки представлен на Рис. 1:

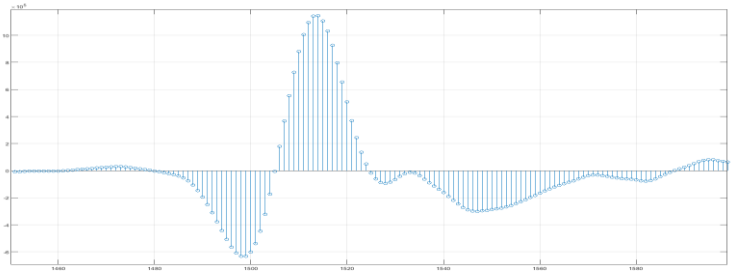


Рис. 1. Сигнал на выходе коррелятора СП

На Рис. 1 представлены временны*е* отсчёты ААКФ синхропоследовательности длиной 63 (М-последовательность). Результат работы синхронизатора с сигналом после корректировки представлен на Рис. 2:

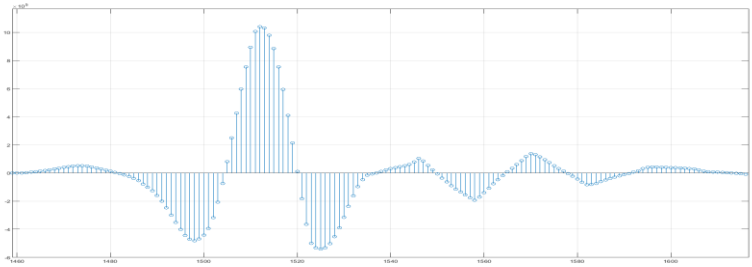


Рис. 2. Сигнал скорректированной СП на выходе коррелятора

На Рис. 2 представлены временны*е* отсчёты ААКФ той же самой синхропоследовательности после внесения поправок на несовпадение частот и компенсации низкочастотного «тренда». В качестве вывода следует отметить, что применение алгоритма вычитания постоянной составляющей для каждого элементарного сигнала в отдельности приводит к улучшению симметричности формы основного лепестка без заметного изменения отношения основного пика к максимальному побочному, что позволяет впоследствии ожидать улучшения вероятности правильной синхронизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Д. А., Бельков А. В., Будаев Д. А. [и др.]. Развитие технологий каротажа во время бурения (LWD) на базе отечественного комплекса телеметрии с электромагнитным каналом связи // Каротажник. - 2016. - № 7(265). - 108-118 с.
2. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. - М.: Техносфера, 2007. - 448 с.

PRACTICE OF MWD-LWD DESIGN

Sukhanov D. V.

(Povolzskiy gosudarstvennyi universitet informatiki i telekommunikaziy)

Abstract. Some features of redesigned MWD LWD ZIS-4 synchronization subsystem has been shown in this paper.

УДК 004.732

СИСТЕМА ПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ ОПТИЧЕСКАЯ

Томашевский Н.С.

(АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Для подключения любого телекоммуникационного устройства требуется источник питания, а также либо кабель, либо радиоканал для обмена данными с другим устройством. Довольно часто встречается проблематика в сложности подключения устройства к источнику питания, ввиду сложности монтажа. Так, например, при развертывании оперативных мобильных узлов связи требуется подвести к маломощной антенне кабель для передачи данных и кабель питания. На расстояниях около 300 м при использовании медного кабеля с сечением жилы 1,5 мм потери мощности и напряжения будут около 15%. При напряжении 183 В относительно выходящего 220 В оборудование будет работать некорректно, не говоря уже о стоимости кабеля.

При отсутствии источника питания, есть возможность передать в одном кабеле и мощность питания, и данные, но тогда есть ограничения по дальности передачи 2-х сигналов в одном кабеле.

Одним из представителей технологии объединения мощности питания и данных в одном кабеле является технология PoE (Power over Ethernet), но существенным недостатком является ограниченность по дальности передачи, а также низкой отказоустойчивостью из-за наличия ретрансляторов.

Разрабатываемая система питания устройств оптическая (СПУО), позволит передавать мощность питания и данные по оптическому кабелю на расстояния более 300 м без потери качества передаваемой информации. Использование системы СПУО позволит устанавливать видеонаблюдение в местах, раннее не доступных для установки камер, благодаря чему повысится уровень гражданской безопасности.

Говоря о потребности вооруженных сил России в разработках, способствующих достижению поставленных перед ними задачами, стоит отметить, что данная разработка может стать весомым аргументом в организации оперативных узлов связи для обмена ценной информацией.

СПУО будет изготавливаться под требования заказчика. Ключевыми элементами системы являются передатчик, состоящий из полупроводникового или диодного лазера с выходной мощностью более 30 Дб на длине волны 1550 нм, и приёмника – фотовольтанического преобразователя, перерабатывающего световую энергию в электрическую. При потребности в большей мощности, могут быть задействованы 2, 3 или 4 волокна под передачу энергии. На коротких расстояниях до 500 м, есть возможность использовать более дешевый полупроводниковый лазер на длине волны 975 нм и высокой выходной мощностью.

Приоритетные требования к продукту:

1. Устройство должно быть устойчиво к внешним воздействиям по стандарту IP65.
2. Устройство должно обеспечивать работу приборов или иных устройств на расстоянии до 1 км от источника питания.
3. Устройство должно иметь на выходе внешнего питания устройств не менее 10 Вт.
4. Устройство должно обеспечивать оперативную развертку мобильного узла связи.

В заключение стоит отметить, что реализация данного проекта способна открыть новую веху развития телекоммуникационных технологий и поможет решить ряд раннее нерешаемых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы / Сборник статей под. ред. С.А. Дмитриева и Н.Н. Слепова. – М.: Техносфера, 2010. – 608 с.

2. Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике: Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 240 с.

OPTICAL DEVICE POWER SYSTEM

Tomashevskij N.S.

(Joint Stock Company «Samara innovative business radio systems», Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

The article is devoted to the development of a device that converts an optical signal into an electrical signal to power low-power telecommunications equipment. The device includes an optical emitter and an optical receiver.

УДК 621.3.049.6

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДЪЕМА ТОЧЕК В ПОРТАТИВНОМ ДИСПЛЕЕ БРАЙЛЯ С ОДНОЙ КАТУШКОЙ

Хакимзянова С.И., Никитина Г.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ)

Цель исследования — анализ и выбор оптимального механизма подъема и удержания точек дисплея Брайля при использовании одной электромагнитной катушки. Рассмотрены два метода:

1. Метод отталкивания постоянного магнита. Суть метода: электромагнит создает кратковременное магнитное поле, которое отталкивает постоянный магнит, закрепленный на точке. После импульса точка поднимается, а удержание обеспечивается либо механическим стопом, либо слабым током [1].

Параметры и расчёт: катушка: 350 витков, провод Ø0,1 мм; сердечник катушки: мягкое железо Ø1,5 мм, длина 10 мм; постоянный магнит на точке: NdFeB, размеры 2×2×1 мм; импульсный ток: I = 0,8 А; воздушный зазор между электромагнитом и магнитом: g ≈ 0,5 мм.

Сила взаимодействия (упрощённая для точечного магнита):

$$F \approx \frac{3\mu_0 mIN}{2\pi g^4}$$

где m — магнитный момент постоянного магнита (для 2×2×1 мм NdFeB m ≈ 0,05 А·м²). Подставляя значения: $F \approx 0{,}15\ N$

Энергия импульса:

$E = \frac{1}{2}LI^2,\ L \approx \frac{\mu_0 N^2}{l} \approx 0{,}6$ мГн, $E \approx 0{,}2$ мДж

Вывод: сила недостаточна для уверенного удержания точки пальцем; требуется механический стоп или дополнительный ток.

2. Метод подвижного сердечника (якоря). Суть метода: сердечник перемещается внутри катушки при прохождении импульсного тока, напрямую поднимая точку. Возврат осуществляется пружиной или небольшой удерживающей силой [2].

Параметры и расчёт: катушка: 350 витков, провод Ø0,1 мм, сердечник: Ø1,5 мм, длина 10 мм, импульсный ток: I = 0,8 А, воздушный зазор g = 0,3–0,5 мм [3].

Сила подъёма точного сердечника:

$$F \approx \frac{\mu_0 (NI)^2 A}{2g^4}$$

Подставляем: при g = 0,5 мм→ $F \approx 0{,}35N$, g = 0,3 мм→ $F \approx 0{,}96N$

Энергия импульса:

$$E = \frac{1}{2}LI^2 \approx 0{,}2 \text{ мДж}$$

Вывод: сила достаточна для подъёма и удержания точки пальцем; регулировка воздушного зазора позволяет гибко подбирать усилие; минимальный ток удержания снижает среднее энергопотребление.

Таблица 1

Сравнительная характеристика

Параметр	Магнитное отталкивание	Подвижный сердечник
Сила подъёма	≈0,15 N	0,35–0,96 N
Энергия импульса	≈0,2 мДж	≈0,2 мДж
Удержание точки	Требуется стоп/ток	Достаточно малый ток
Надёжность	Низкая	Высокая
Простота конструкции	Простая	Немного сложнее

В Таблице 1 представлена сравнительная характеристика двух методов, по которой можно сделать вывод, что метод подвижного сердечника обеспечивает более надёжное удержание точки, достаточную силу для тактильного чтения и оптимальное энергопотребление, что делает его предпочтительным для портативного дисплея Брайля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хакимзянова С.И., Никишина Г.В. Программная реализация мультиплексированного управления электромагнитами Брайля через сдвиговые регистры 74HC595 с использованием SPI Arduino Uno // Вопросы защиты информации. – 2025. – № 2. – С. 47-49. - DOI: 10.52190/2073-2600_2025_2_47.

2. Хакимзянова С.И., Никишина Г.В. Аппаратное обеспечение реализации мультиплексированного управления множеством выводов на примере символов Брайля // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2025. – № 2. – С. 16-21. - DOI: 10.52190/2073-2597_2025_2_16.

3. Хакимзянова С.И., Никишина Г.В. Аппаратная часть системы намотки миниатюрных катушек // Инновации. Интеллект. Культура: материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2025. – 360 с. – ISBN 978-5-9961-3489-2.

A COMPARISON OF METHODS OF ELECTROMAGNETIC DOT LIFT IN A PORTABLE SINGLE-COIL BRAILLE DISPLAY

Khakimzyanova S.I., Nikishina G.V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

This work compares two methods of single-coil electromagnetic actuation for a portable Braille display: magnetic repulsion of a permanent magnet and a moving core solenoid. Calculations show that the moving core provides higher lifting force and reliable tactile point retention with minimal energy consumption, making it the preferred method for portable Braille devices.

УДК 621.3.049.776

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ФОТОННЫХ ТЕНЗОРНЫХ ЯДЕР В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Кутлуяров Р.В., Талынев Е.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

Стремительный рост объемов вычислений, производимых при использовании нейронных сетей, обуславливает рост энергозатрат и, в целом, затрат ресурсов. Поэтому важной глобальной задачей развития интеллектуальных цифровых технологий является снижение затрат энергии, оценочно нормируемых на один бит информации. Перспективным решением является разработка интегральных фотонных процессорных ядер, реализующих умножение вектора на матрицу – операции, многократно повторяющейся в вычислениях нейросетей.

Подходы к построению архитектуры оптических ядер можно разделить на две основных группы: когерентные и некогерентные схемы [1].

При этом высокие оптические потери в обеих схемах ограничивают количество нейронов, которые могут быть реализованы для параллельной обработки входного сигнала.

Входной вектор обновляется со скоростью обработки информации процессором, поэтому при разработке решений, конкурентных с текущим уровнем специализированных электронных процессоров, для модуляции сигнала несущих должны использоваться высокоскоростные модуляторы (частота модуляции не ниже единиц гигагерц).

Таким образом, при разработке архитектуры оптического ядра, технологически выполнимой в России, предлагается использовать гибридизацию оптической схемы на кремниевой технологии с высокоскоростными модуляторами на тонкопленочном ниобате лития, что представляет собой отдельную технологическую задачу.

Очевидно, что исполнение массива модуляторов, обеспечивающих переключение весов (коэффициентов матрицы, умножаемой на входной вектор) в схеме, может быть выполнено с использованием низкоскоростных термооптических модуляторов или модуляторов на основе нанесения на световод материалов с памятью фазы (главным недостатком которых является невысокое количество переключений) для тех сценариев, когда требуемая частота обновления весов существенно ниже частоты обновления входного вектора.

Для повышения производительности ядра в качестве базовой схемы может быть использована когерентная кросс-решётка [2], так как при увеличении количества нейронов она демонстрирует существенно меньшие оптические потери. Однако при реализации данной архитектуры предъявляются высокие требования к точности изготовления сплиттеров для корректной компенсации дифференциальных потерь.

В работе приводятся оценки ключевых метрик энергетической эффективности схемы гибридизации для когерентной схемы с архитектурой Клементса, для некогерентной схемы с микрокольцевыми модуляторами, а также для когерентной кросс-решётки при сопоставимой производительности.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. A. Al-Qadasi. Scaling up silicon photonic-based accelerators: Challenges and opportunities // APL Photonics, Vol. 7, no. 2. id.020902

2. Dabos S. et al. Neuromorphic photonic technologies and architectures: scaling opportunities and performance frontiers [Invited] // Optical materials express. 2022. Vol. 12, No. 6. P. 2343-2367

AN APPROACH TO DETERMINING THE OPTIMAL ARCHITECTURE OF PHOTONIC TENSOR CORE UNDER TECHNOLOGICAL CONSTRAINTS

Kutluyarov R.V., Talynev E.A.
(Ufa University of Science and Technology)

This paper examines the most promising architectures for constructing photonic tensor cores for computing neural networks, using hybridization of an optical circuit with integrated modulators based on thin-film lithium niobate. Key energy metrics are identified.

Секция 7. Проблемы подготовки специалистов в области телекоммуникаций.

УДК: 378

ГЕЙМИФИКАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Кирпичникова М.Ю.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В условиях цифровизации образования одной из ключевых проблем становится снижение вовлеченности студентов, особенно при изучении дисциплин технического профиля. Обилие формул, алгоритмов и сложных расчетов приводит к усталости и потере мотивации. Одним из современных решений является геймификация — внедрение игровых механик в образовательный процесс. Она позволяет связать учебные цели с понятными и эмоционально окрашенными формами деятельности, что в итоге способствует формированию устойчивой внутренней мотивации к обучению. Мета-анализы подтверждают, что грамотно встроенные игровые элементы усиливают когнитивные результаты, повышают уровень участия студентов и обеспечивают устойчивость к перегрузкам [1, 2].

1. Теоретические основания и педагогическая ценность. Геймификация определяется как системное использование игровых элементов в неигровых контекстах. В учебном процессе она становится не развлекательной надстройкой, а инструментом педагогического проектирования. Игровые механики помогают переводить абстрактные знания в конкретные действия: уровень становится эквивалентом лабораторной работы, квест — исследовательской задачи, а значок — признанием освоенной компетенции. При этом поддерживается принцип «обучение через деятельность», что особенно важно для будущих инженеров.

Исследования показывают, что внедрение геймификации ведет к улучшению усвоения материала, росту самостоятельности и формированию позитивного эмоционального фона занятий [1]. Однако эффект напрямую зависит от качества дизайна. При чрезмерном увлечении внешними стимулами (баллы, бонусы) возможно снижение глубины усвоения знаний [2]. Следовательно, геймификация должна строиться на балансе внутренней и внешней мотивации.

2. Можно выделить следующие практические формы для технических специальностей:

2.1. Уровни и квесты. Деление лабораторных заданий на уровни сложности (базовый, продвинутый, экспертный) мотивирует студентов к постепенному освоению материала. Квестовые цепочки обеспечивают логическую связность курса: каждый новый этап становится естественным продолжением предыдущего.

2.2. Система опыта (XP). Замена штрафов на накопительные баллы за попытки и улучшения повышает психологическую устойчивость студентов. Возможность «повторять до мастерства» формирует осознанное стремление к прогрессу.

2.3. Значки и витрина компетенций. Визуализация освоенных навыков позволяет студентам видеть собственный рост, а преподавателям — объективно отслеживать результаты.

2.4. Командные лидерборды. Коллективное соперничество стимулирует чувство принадлежности и распределяет нагрузку. Важно, что рейтинги перезапускаются по спринтам, что поддерживает интерес и снижает давление на отстающих.

2.5. Симуляторы и сценарии. Игровые симуляции инженерных задач воспроизводят реальные производственные ситуации: аварийные сбои, поиск ошибок в системе, ограниченные ресурсы. Такие задания формируют не только знания, но и навыки командного взаимодействия и стрессоустойчивости.

2.6. Нарратив и роли. Использование ролевых сценариев (DevOps-команда, проектировщики АСУ ТП) помогает студентам почувствовать значимость своей работы и приблизить обучение к реальным условиям будущей профессии.

Рассмотрим методические правила, применимые к геймификации учебного процесса:

- каждая игровая механика должна быть привязана к учебной цели;
- правила и критерии оценивания должны быть прозрачны и понятны студентам;
- игровые элементы должны поддерживать автономию и чувство мастерства, а не заменять их;
- формат должен предусматривать «безопасные неудачи»: возможность ошибки без потери интереса;
- эффективность внедрения оценивается с помощью учебной аналитики, опросов и сравнения результатов до и после применения геймификации [1,2].

Геймификация представляет собой не вспомогательный, а стратегический инструмент обновления технического образования. Она связывает академические цели с эмоциональными и деятельностными потребностями студентов, что позволяет повысить качество усвоения сложных дисциплин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sailer M., Homner L. The Gamification of Learning: A Meta-analysis // Educational Psychology Review. 2020. DOI: 10.1007/s10648-019-09498-w.

2. Subhash S., Cudney E. A. Gamified Learning in Higher Education: A Systematic Review of the Literature // Computers in Human Behavior. 2018. DOI: 10.1016/j.chb.2018.05.028.

GAMIFICATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Kirpichnikova M.Yu.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

This article summarizes the latest research in the field of gamification, practical tools and pedagogical recommendations.

УДК 378

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Уразбахтина Ю.О., Морозова Е.С.
(Уфимский университет науки и технологий)

Достижение лучших результатов в процессе формирования ключевых компетенций специалистов телекоммуникационной сферы может обеспечить интеграция современных подходов к образовательному процессу с учетом специфики предметной области, применяемых наукоемких инноваций, а также удовлетворение требований внешних заказчиков (работодателей) к качеству специалистов-инженеров [1].

Инновационный инженерный проектный подход – это практическое решение комплексных задач промышленности (НИР, НИОКР, НИОКТР) преподавателями, аспирантами и студентами в рамках меж- и мульти - дисциплинарных команд на базе университетских ведущих научных и инженерных школ через совместное выполнение мультидисциплинарных исследований с применением надотраслевых технологий и наукоемкого высокотехнологичного оборудования [2].

Использование инструментов проектной деятельности возможно только при взаимодействии с предприятиями телекоммуникационной отрасли.

Рассмотрим алгоритм возможного взаимодействия промышленности и университетов.

1. Промышленность формирует заказ – проблему, решение которой позволит повысить конкурентоспособность предприятия или отдельных продуктов, изделий, технологий и т.д.
2. ВУЗ должен быть готов решить эту конкретную проблему. Что значит быть готов?
3. ВУЗ должен иметь компетентных специалистов, научные школы - мультидисциплинарную команду специалистов, обладающих компетенциями необходимого уровня и имеющих регулярный успешный опыт работы в рассматриваемой области с ведущими промышленными компаниями.
4. Команда компетентных мультидисциплинарных специалистов в идеальной ситуации должна иметь для своевременного и качественного решения проблемы необходимые ресурсы:

– интеллектуальные (заранее подготовленные, готовые подключиться к решению проблемы специалисты);

– материально-технические (специализированное программное обеспечение, Know-How, экспериментальное оборудование, специализированные помещения и т.д.), т.е. должна быть создана и поддерживаться на высоком технологическом уровне структура – динамично и гибко настраиваемая для эффективного решения проблемы. Это могут быть

центры коллективного пользования университетов, где сосредотачивается высокотехнологичное оборудование доступное всем командам, работающим в университете.

5. Из всего выше перечисленного арсенала компетентными специалистами формируется специализированная технологическая цепочка, каждое звено которой должно соответствовать мировому уровню решения подобных проблем.
6. В рамках сформированной специализированной технологической цепочки решается сформулированная промышленная проблема-вызов.
7. В процессе исследования и решения проблемы естественным образом происходит генерирование необходимых для ее решения новых знаний, их формализация и аккумулирование, синергетическое взаимодействие и не формальная передача (трансфер) знаний в рамках совместной работы над решением проблемы, подготовка конкурентоспособных и востребованных специалистов, развитие компетенций и технологий, наконец, – надотраслевой трансфер технологий, знаний, компетенций при обязательном сохранении за центром превосходства ключевых технологий, знаний, компетенций и Know-How.

Реализация многоуровневого компетентностного подхода на основе принципа от узкоспециализированных квалификаций к компетенциям мирового уровня и ориентацией на решение актуальных наукоемких задач в области телекоммуникаций позволит удовлетворить реальные потребности работодателей в квалифицированных и компетентных специалистах, владеющих технологиями мирового уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодрова Е.В. Инновационные процессы в инженерно-техническом образовании//http://pravmisl.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=590 (дата обращения: 07.06.2025);
2. Современное инженерное образование: учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. - СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2012. — 80 с.

THE USE OF PROJECT ACTIVITY TOOLS FOR THE FORMATION OF KEY COMPETENCIES OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF TELECOMMUNICATIONS

Urazbakhtinava J.O., Morozova E.S.
(Ufa University of Science and Technology)

The article considers the implementation of a multi-level competence approach based on the principle of moving from highly specialized qualifications to world-class competencies and focusing on solving current knowledge-intensive tasks in the field of telecommunications to meet the real needs of employers for qualified and competent specialists with world-class technologies.

УДК 378

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Уразбахтина Ю.О., Морозова Е.С.
(Уфимский университет науки и технологий)

В настоящее время чрезвычайно актуальным для инновационного технического образования является развитие системы регулярного участия студентов и сотрудников университета в выполнении реальных проектов (“обучение через решение задач”, выполнение реальных НИР, НИОКР и НИОКТР в рамках деятельности виртуальных проектно-ориентированных команд – по заказам предприятий отечественной промышленности. Для успешного развития этой деятельности необходимо опережающее приобретение и внедрение современных ключевых компетенций и технологий (в первую очередь, технологий компьютерного проектирования и наукоемких технологий компьютерного инжиниринга), а также приобретение положительного опыта работы с ведущими промышленными предприятиями.

Для формирования цифровых компетенций и навыков использования цифровых технологий у обучающихся осваивающих образовательные программы в области телекоммуникаций необходимо:

– трансформировать дисциплину «Информатика» в дисциплину «Основы современной информатики и цифровых технологий»;

– выделить разделы, связанные с разработкой алгоритмов и программ, в элективную дисциплину «Основы алгоритмизации и современного программирования» с возможностью выбора языка программирования (C#, C++, Python, Java, JavaScript, PHP, 1C и др.), реализуемую в виде индивидуальной образовательной траектории с изменением глубины освоения дисциплины в зависимости от типа образовательной программы;

– обновить лабораторное оборудование до уровня цифровых лабораторий с возможностью моделирования сложных технических систем и обработки больших потоков данных;

– оснастить учебные аудитории и лаборатории необходимым оборудованием для организации гибридных форм обучения с подключением к высокоскоростным сетям передачи данных;

– организовать проектное обучение с созданием алгоритмов и программ, пригодных для практического применения;

– проводить на постоянной основе республиканские, всероссийские и внутриуниверситетские конкурсы, олимпиады, хакатоны с привлечением компаний- лидеров цифровой экономики.

Действенным инструментом для получения цифровых компетенций обучающимися является проект «Цифровые кафедры». Проект «Цифровые кафедры» — инициатива Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, направленная на создание современных цифровых

образовательных платформ для российских вузов. Проект реализуется в рамках государственной программы развития цифровой экономики страны.

Основные цели проекта:

- Повышение качества подготовки специалистов в области информационных технологий и цифровизации различных отраслей экономики.
- Создание инфраструктуры для онлайн-обучения студентов и преподавателей, внедрение дистанционных форматов и инновационных методов преподавания.
- Обеспечение доступности качественного цифрового образовательного контента для всех регионов России.

В рамках проекта студенты параллельно с основным образовательным процессом осваивают цифровые компетенции и вместе с дипломом о высшем образовании получают диплом о профессиональной переподготовке в области цифровых технологий.

Таким образом, проект «Цифровые кафедры» направлен на интеграцию новых технологий в образовательный процесс, повышение конкурентоспособности выпускников и укрепление позиций России в мировой экономике XXI века.

FORMATION OF DIGITAL COMPETENCIES IN THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE FIELD OF TELECOMMUNICATIONS

Urazbakhtina J.O., Morozova E.S.
(Ufa University of Science and Technology)

The article describes the Digital Chairs project, which aims to integrate new technologies into the educational process, increase the competitiveness of graduates and strengthen Russia's position in the global economy of the 21st century.

УДК 378.147.85(075)

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ

В.И. Иванов

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Самостоятельная работа студентов — ключевой компонент современного образовательного процесса. Она обеспечивает глубокое освоение дисциплины, формирование навыков самоконтроля и самоорганизации, развитие критического мышления и ответственности за результат. В условиях прессинга учебной нагрузки и ограниченного времени эффективные подходы к самостоятельной работе позволяют students достигать учебных целей без постоянной опоры на преподавателя.

Автономная деятельность студента включает в себя:

Планирование и тайм-менеджмент: расстановка приоритетов, составление расписания, определение объёмов задач.

Поиск и обработка информации: работа с учебной литературой, научными статьями, открытыми источниками, библиотечными каталогами.

Аналитическая работа: синтез материалов, формулировка гипотез, критический разбор источников.

Практические навыки: выполнение лабораторных работ, проектов, курсовых и дипломных работ, решение задач по предмету.

Самоконтроль и рефлексия: проверка результатов, поиск ошибок, планирование дальнейших шагов.

Роли и обязанности студента в самостоятельной работе сводится к: быть активным участником своего обучения: задавать вопросы, участвовать в обсуждениях, проявлять инициативу; осуществлять независимое решение задач с опорой на теорию и практику, а не только повторение материалов; соблюдать академическую честность: правильно цитировать источники, избегать плагиата; вести учёт времени и прогресса: фиксировать достигнутые результаты и корректировать план.

Роль преподавателя и организации учебного процесса следующая:

- предоставление структурированного заданиями: четкие требования, критерии оценки, сроки;
- обеспечение доступности материалов и ресурсов: учебники, методички, базы данных, онлайн-платформы;
- модерация и поддержка: консультации, фидбек, рекомендации по улучшению подходов к самостоятельной работе.

Особое внимание следует обратить на методы повышения эффективности самостоятельной работы:

- структурирование задач: разбиение на подзадачи, установка промежуточных дедлайнов;
- методы поиска информации: формулирование вопросов, использование ключевых слов, проверка источников на достоверность;

- системы учёта и контроля: ведение дневника учёбы, трекеры задач, ведение библиографии;

- рефлексия и коррекция: анализ неудач, корректировка стратегии на следующий период.

Преимущества самостоятельной работы сводятся к ускорению овладения компетенциями, выход за рамки базового курса, развитию профессиональной дисциплины, ответственности и самостоятельности, повышению качества обучения за счёт глубокого понимания материала, формированию навыков научной работы и подготовки к профессиональной деятельности.

Самостоятельная работа студентов — не просто дополнение к аудиторным занятиям, а основной механизм формирования профессиональной компетентности. Развитие навыков самоорганизации, умения работать с информацией и критически мыслить позволяет студентам лучше освоить специальность и быть готовыми к требованиям современного рынка труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков В. И., Ломакин Н. А. Автономное обучение: концепции и современные подходы // Образование и наука. 2021. Том 7. Выпуск 2. С. 12–24.

2. Иванова Е. П. Информационная грамотность в вузе: модели формирования навыков // Вестник вузовской науки. 2020. № 4. С. 45–63.

INDEPENDENT WORK OF STUDENTS AT THE UNIVERSITY

V.I. Ivanov

(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

In the context of the introduction of the Federal State Educational Standard for Higher Education in 3++ and the reduction of classroom hours, students' independent work is becoming more and more relevant. The report identifies and analyzes four levels of independent work of students: Template work, Reproductive work, Productive work, Independent work on the application of knowledge.

УДК 004.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЕБ-СЕРВИСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ И ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ЦИФРОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Богрянцев И. С., Коняева О.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современное образование переживает активную интеграцию технологий искусственного интеллекта (ИИ) в учебный процесс. Согласно недавним исследованиям, уже каждый пятый преподаватель в России (≈20%) активно применяет нейросети в своей работе, и еще порядка 36% планируют начать их использовать в ближайшем будущем [1]. Интерес к ИИ связан с его способностью автоматизировать рутинные задачи и экономить время преподавателя. Такие системы помогают быстро создавать уроки, презентации и тесты по запросу пользователя.

Уже сегодня существует ряд платформ, предлагающих учителям помощь ИИ в создании учебного контента. Например, онлайн-сервис MagicSchool.ai позволяет автоматически генерировать индивидуализированные задания, упражнения, кроссворды и другие дидактические материалы, упрощая подготовку к занятиям [2]. Другой популярный инструмент – Eduaide.AI, в котором доступно более 100 видов ресурсов для разработки уроков, а также он может мгновенно переводить сгенерированный контент на десятки языков [3].

Но возникает проблема, преподавателю приходится использовать несколько сервисов и дорабатывать материалы вручную [4]. Черновики ИИ часто требуют оформления, добавления медиа или вопросов. Отсутствие единой платформы снижает эффективность.

Можно представить универсальный ИИ-сервис, который устраняет указанные недостатки и помогает создавать учебные материалы. Он может автоматически генерировать страницу урока, презентацию по теме или тестовые задания, облегчая работу преподавателя.

Такой сервис можно адаптировать под разные задачи, позволяя преподавателю выбирать формат подачи материала. Он подстраивает сложность под уровень студентов и учитывает загруженные методические материалы.

Внедрение ИИ-сервиса даёт ряд преимуществ для образования. Прежде всего это экономия времени: по опросам, 45% педагогов отмечают, что ИИ снижает нагрузку и позволяет сосредоточиться на методике и работе со студентами [1]. Второе — разнообразие и адаптивность: система формирует несколько вариантов материалов и подстраивает их под уровень учащихся, что открывает возможности персонализированного обучения [1]. Третье — повышение качества: мультимедийные элементы и интерактивные задания делают занятия нагляднее, а исследования показывают рост успеваемости до 30% благодаря адаптивным технологиям [1].

Конечно, внедряя такие решения, важно учитывать и ограниченные стороны. ИИ пока не гарантирует абсолютной точности и глубины – сгенерированные материалы могут содержать неточности или слишком общие формулировки. Поэтому роль преподавателя остается центральной.

Развитие технологий ИИ открывает новые горизонты для образования. Платформа, позволяющая по запросу преподавателя создавать полный комплект материалов для урока способна значительно преобразить процесс подготовки занятий. В итоге грамотное внедрение ИИ позволит улучшить качество образования, повысить индивидуализацию обучения и облегчить труд учителя, сохраняя при этом высокий научно-методический уровень материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейросети для учителей: революция искусственного интеллекта в классе [Электронный ресурс] / URL: https://developers.sber.ru/help/gigachat-api/ai-for-teachers (дата обращения: 02.09.2025).
2. Искусственный интеллект как средство создания дидактических материалов для обучения иноязычной лексики на этапе начального образования (на примере платформы MagicSchool.ai) // Наука в мегаполисе (Science in the Megapolis) [Электронный ресурс] / URL: https://www.mgpu-media.ru/issues/issue-75/innovatsionnye-obrazovatelnye-tekhnologii/iskusstvennyj-intellekt-kak-sredstvo-sozdaniya-didakticheskikh-materialov-dlya-obucheniya-inoyazychnoj-leksiki-na-etape-nachalnogo-obrazovaniya-na-primere-platformy-magicschool-ai.html (дата обращения: 02.09.2025).
3. AI Tools for Teachers | Edutopia [Электронный ресурс] / URL: https://www.edutopia.org/article/7-ai-tools-that-help-teachers-work-more-efficiently/ (дата обращения: 02.09.2025).
4. Free AI Tools for Teachers and Educators – Brisk Teaching [Электронный ресурс] / URL: https://www.briskteaching.com/ (дата обращения: 02.09.2025).

INTELLIGENT WEB SERVICES AS A TEACHER'S TOOL FOR DEVELOPING PROFESSIONAL KNOWLEDGE AND TEACHING STUDENTS DIGITAL TECHNOLOGIES

Bogryantsev I.S., Konyaeva O.S.
(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Modern education is experiencing active integration of artificial intelligence (AI) technologies into the educational process. According to recent studies, every fifth teacher in Russia (≈20%) actively uses neural networks in their work, and another 36% plan to start using them soon [1]. Interest in AI is related to its ability to automate routine tasks and save teachers' time. Such systems help quickly create lessons, presentations, and tests at the user's request.

УДК 621.391

ТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Галеев З.З., Аккучукова А.И.
(Уфимский университет науки и технологий)

Современные телекоммуникационные инфраструктуры, включая сети 5G с низкой латентностью, интеграцию IoT с протоколами MQTT/CoAP и применение AI для оптимизации трафика и предиктивного анализа, играют ключевую роль в цифровой экономике и межсекторной интеграции. Однако подготовка кадров сталкивается с барьерами из-за несинхронизации образования с технологическими инновациями, требуя детального анализа и адаптивных стратегий.

Одним из ключевых препятствий является диссонанс между учебными программами и требованиями рынка труда: традиционные курсы по электросвязи и сетевым технологиям (OSI, TCP/IP) уступают компетенциям в облачных вычислениях (AWS, Azure), кибербезопасности (AES, TLS) и обработке больших данных (Hadoop, машинное обучение). Выпускники недостаточно готовы к развертыванию масштабируемых сетей и обеспечению устойчивости систем, что заставляет работодателей проводить дополнительные адаптационные тренинги.

Недостаток практических навыков усугубляется отсутствием доступа к современным лабораториям с симуляторами сетевых топологий, SDN-контроллерами и инструментами для тестирования уязвимостей, что ограничивает эмпирическое освоение QoS и маршрутизации. Дефицит преподавателей с актуальным опытом в оптических и беспроводных сетях замедляет передачу знаний, поскольку многие инструкторы не успевают интегрировать новейшие разработки, включая edge computing и блокчейн для децентрализованного управления сетями.

Эти вызовы коренятся в ограниченном бюджетном финансировании, сдерживающем модернизацию инфраструктуры и приобретение лицензионного ПО, а также в слабой синергии между академическими исследованиями и промышленными практиками: университеты редко инициируют совместные проекты по разработке прототипов IoT-устройств или стажировок в телеком-компаниях, что усиливает разрыв между теоретическими моделями и прикладными сценариями, особенно в контексте глобализации и цифровизации, требующей навыков в интероперабельности систем.

Дополнительные факторы включают демографические сдвиги, такие как снижение привлекательности технических дисциплин из-за стереотипов о высокой сложности и предпочтения креативных профессий, а также вызовы, выявленные пандемией COVID-19, когда переход к дистанционному обучению выявил неэффективность онлайн-платформ для симуляции лабораторных экспериментов по тестированию сетевых протоколов и групповых сессий по проектированию архитектур.

Для преодоления барьеров нужно внедрить модульные образовательные фреймворки, позволяющие комбинировать курсы по трендам вроде 6G и квантовых коммуникаций. Усиление партнерств с телеком-операторами через совместные лаборатории для экспериментов с NFV и SDN, плюс стажировки в реальных средах, обеспечит практическую ориентацию. Увеличение финансирования критично для обновления оборудования, включая VR-симуляторы и AI-инструменты, а также для привлечения экспертов-менторов.

Рекомендуется развитие систем непрерывного образования с сертификацией по стандартам типа CISSP или CCNA для адаптации специалистов к технологической эволюции на протяжении карьеры. Интеграция ИИ в образовательные процессы, например, через генеративные модели для симуляции сетевой оптимизации и VR-платформы для виртуального проектирования инфраструктур, повысит эффективность обучения. Государственные инициативы в форме грантов и программ стимулирования для технических специальностей привлекут абитуриентов, мотивируя их карьерными траекториями в телеком-индустрии.

В итоге, проблемы подготовки специалистов в телекоммуникациях требуют комплексной реформы, объединяющей усилия образовательных институтов, бизнеса и государства для обеспечения устойчивого развития отрасли. Без таких преобразований невозможно достичь технологического превосходства на глобальном рынке, где инвестиции в образование сегодня определяют конкурентные преимущества завтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев А.А. (2021). О ПРОБЛЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО МЕЖОПЕРАТОРСКОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ. Креативная экономика, 15 (7), 2953-2974.

2. TMT Рейтинг «Российский рынок телекоммуникаций: итоги 2024 года». TMT Консалтинг. [Электронный ресурс]. URL: https://tmt-consulting.ru/wp-content/uploads/2024/12/TMT-телеком-2024-1.pdf (дата обращения: 10.09.2025).

TECHNICAL AND METHODOLOGICAL CHALLENGES IN TELECOMMUNICATIONS SPECIALIST TRAINING

Galeev Z.Z., Akkuchukova A.I.
(Ufa University of Science and Technology)

Preparing specialists in telecommunications faces challenges such as mismatched educational programs with market needs, lack of practical skills and equipment, and instructor shortages. Underlying causes include insufficient funding, limited industry collaboration, and demographic shifts. Solutions encompass modular curricula, partnerships with companies, state support, and integration of AI technologies. Reforms are essential for sustainable sector development and national competitiveness.

УДК 378.147:621.39

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ ОФИЦЕРОВ-СВЯЗИСТОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЦИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВООРУЖЕННЫЕ СИЛЫ

Галеев З.З., Кабиров А.А., Аккучукова А.И.
(Уфимский университет науки и технологий)

В контексте эволюции военно-стратегических систем особую актуальность приобретает интеграция цифровых и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в архитектуру вооруженных сил. Это обусловливает необходимость глубокой трансформации образовательных программ для специалистов в области связи, включающей не только углубленное теоретическое обучение, но и развитие практических навыков эффективного применения ИКТ-систем. Сокращение продолжительности обучения в высших учебных заведениях с пяти до четырех лет усугубляет дефицит учебного времени, что требует оптимизации образовательного процесса посредством внедрения активных педагогических методов и компетентностного подхода.

Традиционная парадигма подготовки военных специалистов, несмотря на ее историческую эффективность, не в полной мере соответствует растущим требованиям оперативных подразделений. Наблюдается дисбаланс между теоретической подготовкой и практическими компетенциями выпускников, обусловленный недостаточной реализацией интерактивных и имитационных методов обучения. Рост объема учебного материала в сочетании с понижением базового уровня подготовки абитуриентов создает дополнительные барьеры в освоении дисциплин.

Для устранения выявленных несоответствий предлагается внедрение компетентностной модели подготовки, систематизирующей и конкретизирующей требования к офицерам-связистам. Анализ позволил выделить шесть ключевых блоков компетенций: специальные (технические навыки в области связи), командные (лидерство и принятие решений), адаптивные (гибкость в изменяющихся условиях), коммуникативные (эффективный обмен информацией), управленческие (координация ресурсов) и исполнительские (практическая реализация задач). Данная структура обеспечивает четкое определение ожидаемых результатов обучения и их корреляцию с учебными дисциплинами и модулями.

Нормативно-функциональная модель подготовки гарантирует соответствие образовательных outcomes требованиям военного руководства, позволяет проводить количественную оценку уровня усвоения компетенций и обладает адаптивностью к изменениям нормативных стандартов. Модульный принцип обучения предполагает градационную сложность учебных задач: от базовых практических навыков (например, монтаж кабельных систем) до комплексных проектов и ситуационных симуляций (моделирование сетевых атак или восстановления связи в условиях jamming), что повышает эффективность образовательного процесса и обеспечивает его непрерывность.

В качестве примера реализации компетентностного и модульного подходов можно привести модернизацию учебных лабораторий, где создаются условия для работы с стационарными и полевыми узлами связи. Это позволяет курсантам взаимодействовать с реальными кабельными системами (например, оптическими и медными), осваивать процедуры переключения каналов, управления сетевыми ресурсами и протоколов безопасности. Практические занятия организуются с учетом имитации боевых сценариев, включая электромагнитные помехи и отказы оборудования, что способствует формированию устойчивых навыков работы в нестационарных средах. Следует отметить, что такие мероприятия не требуют значительных капитальных вложений и могут быть реализованы путем оптимизации существующих учебных ресурсов.

Применение компетентностного и модульного подходов в подготовке офицеров-связистов повышает эффективность образовательного процесса, ориентируя его на практическое применение и адаптацию к динамике. Предложенная модель обеспечивает формирование у выпускников необходимых профессиональных, управленческих и коммуникативных компетенций, а также готовность к оперативной адаптации в условиях изменяющейся тактической обстановки. Практическая направленность обучения минимизирует разрыв между теоретическими знаниями и их прикладным использованием, что является критическим фактором успешного выполнения задач связи в современных вооруженных силах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. I. Muratova, S. I. Dvoretsky and E. Y. Voyakina, "Organization of postgraduate students training in the technical field of sciences," 2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), Kazan, Russia, 2013, pp. 446-449, doi: 10.1109/ICL.2013.6644622.

MODERNIZATION OF TRAINING PROGRAMS FOR SIGNAL OFFICERS IN THE CONTEXT OF INTEGRATING DIGITAL TECHNOLOGIES INTO ARMED FORCES

Galeev Z.Z., Kabirov A.A., Akkuchukova A.I.
(Ufa University of Science and Technology)

The article discusses the need to reform training programs for signal officers in military structures due to digital and ICT integration in armed forces. It addresses challenges like shortened training time and theory-practice imbalances, proposing a competency-based model with six blocks: specialized, command, adaptive, communicative, managerial, and executive skills. A modular approach with increasing task complexity is recommended for better efficiency. Modernized labs enable hands-on work with real communication nodes and low-cost combat simulations. The focus is on practical training and adaptability for dynamic operations.

УДК 621.391

ВЕРИФИКАЦИЯ СООБЩЕНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Шагарова А.А., Плаксина К.К.

(Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева)

Значение системы автоматического зависимого наблюдения (ADS-B) для современного и перспективного управления воздушным движением (УВД) определяется его операционными преимуществами перед традиционными радиолокационными системами. Высокая частота обновления информации позволяет отслеживать маневры воздушных судов с минимальной временной задержкой, что особенно критично на этапах взлета и захода на посадку. Важным преимуществом является также расширение зоны покрытия, включая труднодоступные регионы и океанические пространства, где развертывание радиолокационных станций экономически или технически нецелесообразно. Эти характеристики делают ADS-B технологическим фундаментом для реализации перспективных концепций управления.

Однако переход к зависимой модели наблюдения порождает принципиально новые вызовы безопасности. Открытый характер протокола и отсутствие в его текущей реализации встроенных механизмов криптографической защиты создают уязвимости, которые могут быть использованы для несанкционированного вмешательства. Эти атаки становятся возможными благодаря доступности радиочастотного оборудования, способного работать в диапазоне 1090 МГц, и отсутствию процедур аутентификации источников данных [1].

Анализ сравнительной эффективности методов верификации ADS-B-сообщений позволяет выявить характерные особенности каждого подхода. Методы сенсорной корреляции, основанные на сравнении данных ADS-B с информацией от систем MLAT, демонстрируют очень высокую эффективность против атак вброса и высокую - против спуфинга координат. Однако эти методы характеризуются низким временем обнаружения угроз и существенной зависимостью от развитой наземной инфраструктуры, что ограничивает их применение в районах с недостаточным покрытием [2].

Логический анализ траекторий, напротив, отличается минимальной зависимостью от дополнительной инфраструктуры, но обеспечивает лишь среднюю эффективность против вброса и низкую - против спуфинга. Существенным ограничением данного подхода является очень высокое время обнаружения угроз, что снижает его оперативную ценность в реальных условиях управления воздушным движением.

Наиболее сбалансированные характеристики показывает гибридная система, интегрирующая несколько методов валидации. Она обеспечивает очень

высокую эффективность против вброса и высокую - против спуфинга при малом времени обнаружения. При этом зависимость от инфраструктуры у такой системы оценивается как средняя, что делает ее наиболее перспективным направлением для практической реализации в современных условиях.

Анализ современных угроз показал, что наиболее опасными являются скоординированные атаки, сочетающие вброс ложных целей и манипуляцию данными реальных воздушных судов, способные дестабилизировать работу системы управления воздушным движением. Комбинация сенсорной корреляции с независимыми источниками данных, логического анализа траекторий и перспективных криптографических протоколов позволяет создать многоуровневую систему защиты. Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке стандартов кибербезопасности для ADS-B, интеграции технологий искусственного интеллекта для прогнозного анализа, а также создании международной системы обмена данными о кибератаках в воздушном пространстве. Реализация этих направлений позволит создать устойчивую к эволюционирующим угрозам систему зависимого наблюдения, соответствующую требованиям цифровой трансформации воздушного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фальков Э.Я., Шаврин С.С. Кибербезопасность авиационных информационносвязных систем // Радиоэлектронные технологии. 2017. № 5. С. 56–59. 9. Григорьев И.Д., Орлов В.Г. Анализ уязвимостей АЗН-В на базе 1090 Extended Squitter // Материалы Международной научно-технической конференции Intermatic-2016. Ч. 5 / МИРЭА. 2016. С. 171–174.

2. Костин А. Спуфинг в воздухе // Хакер. 2013. № 1(168). С. 18–24.

VERIFICATION OF THE MESSAGES OF THE AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE SYSTEM UNDER CONDITIONS OF UNAUTHORIZED INTERFERENCE IN AIR TRAFFIC CONTROL

A.A. Shagarova, K.K. Plaksina

(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev)

Abstract.

Evaluating the effectiveness of the validation methods used requires defining a system of quantitative and qualitative criteria. The key metrics are the probability of correctly detecting an attack and the probability of a false alarm, which form the operating characteristics of the receiver. Additionally, the average delay time between the start of an attack and its detection is analyzed, which is critically important for rapid response in real-world air traffic control conditions.

УДК 004.8

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПО В ЭПОХУ ИИ: ВНЕДРЕНИЕ ПРАКТИК АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ, ТЕСТИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ

Третьяков Е.Ю., Аликберова Е.О.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Актуальность модернизации подготовки специалистов в сфере телекоммуникационного программного обеспечения сегодня не вызывает сомнений [1]. Современная отрасль связи стремительно трансформируется под влиянием технологий искусственного интеллекта, что требует пересмотра существующих образовательных подходов. Традиционные учебные планы, ориентированные в основном на фундаментальные принципы построения сетей и классическое программирование, уже не отвечают запросам стремительно развивающихся технологий.

Переход к программно-определяемым сетям, виртуализации сетевых функций и развертыванию сетей нового поколения создает беспрецедентные требования к гибкости, надежности и скорости развертывания сервисов. Обеспечить эти параметры исключительно силами человеческих ресурсов становится невозможно. На первый план выходят методологии MLOps и AIOps, которые сегодня становятся отраслевым стандартом. MLOps позволяет автоматизировать полный жизненный цикл моделей машинного обучения, встраивая их непосредственно в телеком-продукты. AIOps использует большие данные и машинное обучение для автоматизации операционной деятельности [2]. Специалист, не владеющий этими подходами, оказывается неготовым к реальным производственным задачам.

Ключевым направлением модернизации должно стать внедрение сквозной автоматизации разработки в учебный процесс. Речь идет не просто об изучении языков программирования, а о формировании целостного понимания конвейеров непрерывной интеграции и доставки, адаптированных к телекоммуникационной специфике. Студентам необходимо практически осваивать инструменты автоматизации сборки, контейнеризации и оркестрации, которые составляют основу современных облачных и телекоммуникационных систем.

Автоматизация тестирования телекоммуникационного ПО представляет собой еще одно критически важное направление. Сложность и распределенный характер современных систем делают ручное тестирование неэффективным. Образовательные программы должны включать подходы на основе ИИ: интеллектуальный анализ логов, автоматизацию проверки производительности и безопасности. Практическая работа с инструментами автоматической генерации тестовых сценариев должна стать обязательным элементом подготовки.

Учебные курсы необходимо дополнять симуляторами и лабораторными стендами, моделирующими работу крупной телекоммуникационной инфраструктуры. Здесь студенты могут осваивать применение AIOps-платформ для прогнозирования отказов, автоматического масштабирования сервисов и локализации инцидентов. Такой подход формирует у будущих специалистов навыки проектирования устойчивых к сбоям архитектур, способных к самовосстановлению.

Внедрение этих передовых практик сталкивается с серьезными вызовами для образовательных учреждений. Преподавательский состав должен обладать актуальным опытом в области MLOps и AIOps, что требует активного привлечения практиков из индустрии и организации стажировок. Необходим также пересмотр структуры учебных планов для включения новых дисциплин без ущерба для фундаментальной подготовки.

В заключение следует подчеркнуть, что современная подготовка специалистов для телекоммуникационной отрасли требует не добавления отдельных курсов, а пересмотра концепции инженерного образования. Требуется готовить архитекторов интеллектуальных систем, способных проектировать, разрабатывать и сопровождать сложные, автономные и самообучающиеся телекоммуникационные инфраструктуры. Интеграция практик автоматизации на основе ИИ в образовательные программы – это стратегическая необходимость для обеспечения технологической конкурентоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zheng A., Casari A. Feature Engineering for Machine Learning: Principles and Techniques for Data Scientists. O'Reilly Media, 2018. 218 p.

2. AI Operations: A practical framework for AI driven operations in the telecom industry [Электронный ресурс] / URL: https://www.tmforum.org/resources/whitepapers/ai-operations-a-practical-framework-for-ai-driven-operations-in-the-telecom-industry/ (дата обращения: 29.09.2025).

REQUIREMENTS FOR THE DESIGN OF THE ABSTRACTS OF THE REPORT

Tretyakov E., Alikberova E.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

These theses examine the urgent need to modernize the training of telecommunications software engineers in the age of AI. The core argument is that traditional educational programs must fundamentally integrate AI-driven automation practices like MLOps and AIOps. The document proposes key updates to curricula, focusing on embedding automated development (CI/CD), AI-based testing, and intelligent maintenance (AIOps) into the learning process. Ultimately, the work concludes that this shift is a strategic necessity for developing specialists capable of building and managing self-adapting telecommunication infrastructures.

УДК 316.772

МЕСТО МЯГКИХ НАВЫКОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Анташева В.Г.
(ФГБОУ ВО «ПГУТИ»)

Современная телекоммуникационная индустрия — это не только код и алгоритмы, но и сложная экосистема, где успех проекта определяется эффективным взаимодействием между людьми. Однако система подготовки кадров для этой сферы часто продолжает выпускать узкопрофильных специалистов, блестящих в решении технических задач, но испытывающих серьезные трудности в коммуникации.

Ключевая проблема заключается в устойчивом разрыве между высоким техническим уровнем выпускников и их недостаточной подготовкой в области мягких навыков. Индустрии нужны команды, которые умеют не только писать код, но и ясно излагать мысли, работать в команде и понимать запросы бизнеса.

Этот коммуникативный разрыв проявляется в нескольких аспектах:

1. Неспособность ясно формулировать мысли. Специалисты не могут доступно объяснить сложные технические концепции нетехническим заказчикам, менеджерам или коллегам из других отделов, что приводит к недопониманию и ошибкам в постановке задач.
2. Трудности командной работы. В рамках проектного обучения студенты часто сосредоточены исключительно на своей части задачи, не развивая навыки совместного решения проблем, конструктивной обратной связи и разрешения конфликтов.
3. Слабое понимание бизнес-контекста. Выпускники зачастую не видят связи между своими техническими решениями и общими бизнес-целями проекта, что делает их исполнителями, не способными вносить стратегический вклад.

Последствия этого дефицита — срывы сроков, перерасход бюджетов и неудовлетворенность клиентов из-за неверно понятых требований и неэффективной координации внутри команды.

Для решения данной проблемы необходима системная интеграция мягких навыков в учебный процесс:

- Введение обязательных практико-ориентированных курсов, например: «Техники деловой коммуникации для специалистов в области телекоммуникаций» или «Управление ИТ-проектами». Фокус должен быть сделан на проведении презентаций и ведении переговоров.
- Активное использование проектного обучения. Студентов необходимо объединять в междисциплинарные команды для работы над реальными или приближенными к реальности проектами, где успех зависит не только от качества кода, но и от слаженности взаимодействия.

- Привлечение практиков из индустрии для проведения мастер-классов и разбора кейсов, связанных с коммуникационными вызовами в области телекоммуникаций.

Узкопрофильный технический специалист перестает быть идеалом для индустрии. Будущее за гибридными профессионалами, которые сочетают глубокие технические знания с развитыми мягкими навыками. Интеграция коммуникативных дисциплин в образовательный процесс — это насущная необходимость для подготовки кадров, способных не просто создавать технологические продукты, но и делать это эффективно, в команде, понимая общие цели бизнеса.

THE PLACE OF SOFT SKILLS IN THE TRAINING OF TELECOMMUNICATIONS SPECIALISTS

Antasheva V.G.
("PSUTI")

The article examines the key problem of modern IT education - the shortage of soft skills among graduates. The consequences of this gap for project work are analyzed and ways of integrating communication disciplines into technical curricula are proposed.

УДК 159.9

ЛИДЕРСТВО И SOFT SKILLS: КЛЮЧЕВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Вержаковская М.А., Анташева В.Г.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Динамичная цифровая трансформация телекоммуникационной отрасли, характеризующаяся переходом от предоставления каналов связи к созданию комплексных цифровых экосистем, предъявляет новые требования к компетенциям специалистов. Помимо глубоких технических знаний, от современных инженеров и руководителей требуются развитые мягкие навыки (Soft Skills), лидерские качества и умение эффективно управлять командами в условиях неопределенности. Традиционная система подготовки, сфокусированная на технологиях (Hard Skills), зачастую не успевает за этим запросом, создавая кадровый разрыв.

Существует явный диссонанс между классическим техническим образованием в сфере телекоммуникаций и реальными потребностями бизнеса. Выпускники вузов, будучи блестящими инженерами, нередко испытывают трудности в коммуникации с клиентами, управлении проектами, разрешении конфликтов и стратегическом позиционировании технологических решений, что снижает общую эффективность компаний.

В качестве ответа на этот вызов была разработана и реализована программа повышения квалификации «Современный лидер-руководитель: инструменты прокачки личного и социального лидерства». На примере данной программы можно выделить ключевые направления для интеграции в подготовку телеком-специалистов:

1. Целенаправленное развитие коммуникативного блока: модули по ораторскому мастерству, деловому общению и результативным переговорам формируют у специалистов способность ясно доносить сложные технические идеи до любой аудитории.
2. Формирование управленческих компетенций: разделы, посвященные управлению командой, тайм-менеджменту и мотивации персонала (в т.ч. через инструменты геймификации), готовят технических специалистов к роли тимлидов и проект-менеджеров.
3. Цифровая грамотность и личный бренд: блок по работе с цифровыми медиаресурсами и продвижению в медиапространстве актуален для формирования публичной экспертизы специалистов и усиления корпоративного бренда телеком-компании.

Опыт реализации программы демонстрирует, что «прокачка» мягких навыков и лидерских качеств является не факультативным дополнением, а обязательным элементом подготовки конкурентоспособного специалиста для телеком-индустрии. Для преодоления кадрового разрыва необходима системная интеграция аналогичных дисциплин и практик в основные образовательные

программы вузов, а также в корпоративные системы повышения квалификации. Синтез глубоких технических знаний и развитых гибких навыков позволит готовить специалистов, способных не только создавать инновационные телеком-решения, но и эффективно управлять ими, командой и бизнес-процессами в целом.

LEADERSHIP AND SOFT SKILLS: KEY COMPETENCIES FOR TELECOMMUNICATIONS PROFESSIONALS

Verzhakovskaya M.A., Antasheva V.G.
(*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics*)

The article examines the key problem of modern education in the field of telecommunications — the shortage of soft skills and leadership qualities among technical specialists. Using the example of the implemented advanced training program "Modern Leader-Manager", it is proved that the integration of modules on communications, team management and digital literacy into personnel training is a prerequisite for bridging the personnel gap and successful digital transformation of the industry.

UDC 378.147:621.38

FEATURES OF THE FORMATION OF UNIVERSAL COMPETENCIES IN PROFESSIONAL TRAINING IN THE FIELD OF "PHOTONICS AND OPTOINFORMATICS"

[1]Anna E. Serezhkina, [2]Igor S. Osadchiy, [2]Galiakberov, L. M.
([1]Kazan National Research Technological University (KNRTU), [2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia)

The development of science and modern technologies imposes high demands on the quality of training specialists in the field of photonics and optoinformatics, which is associated with the rapid obsolescence of products, a high level of competition, and the constant need to integrate digital technologies into research and production activities. Professional training is not limited to specialized knowledge but also includes skills that ensure the graduate's ability to adapt to a dynamically changing professional environment, think critically, interact effectively in a team, and master modern communication tools [1,2].

The educational standard for this field defines a set of universal competencies, each of which reflects a particular aspect of the preparation of a modern specialist. Students are engaged in simulated professional activities, teamwork, and communication, which is especially important for integrating project, research, and communication practices.

Using the example of the universal competency "systemic and critical thinking," we present its formation in the process of training master's students in the field of "Photonics and Optoinformatics." Table 1 shows a fragment of the model for developing universal competencies, combining the characteristics of competencies, their content components, and specific implementation tools within the educational process.

Table 1

Model for the Formation of Universal Competencies
(Systemic and Critical Thinking)

Components (description of the competency)	Tools and active learning methods
• parameter analysis – identification of key characteristics of complex optoelectronic devices and data transmission systems, assessment of environmental and design factors' impact • hypothesis formulation – development of scientifically grounded assumptions and their verification through modeling	• engineering simulator "Digital modeling with parameter control", allowing users to modify individual parameters and observe the system's response in real time • case study "Analysis of the causes of a real device failure", involving a detailed investigation of a specific instance of device malfunction (for example, a fiber amplifier module)

• comparison of alternatives – evaluation of different solutions based on efficiency, cost, and risk criteria • critical evaluation and identification of weaknesses in existing approaches and in the design of new elements of optical networks and computing systems, including analysis of the vulnerability of optical interfaces to unauthorized access threats and the effects of various types of interference.	• discussion "Systemic errors in optoelectronics" (project analysis with the construction of connection diagrams), where each participant has the opportunity to contribute to problem solving, develop skills in presenting arguments, and engage in collective discussion of alternative approaches • expert discussion of design solutions conducted jointly by students and instructors

The model provides a structured approach to the development of universal competencies, as the description of competencies makes it possible to specify educational goals and objectives, while the learning tools are closely aligned with professional activities in the field, enabling deep immersion in the processes of designing and developing optical systems and integrated circuits.

REFERENCES

1. Osadchiy, I. S., Serezhkina, A. E. (2021) Competency model of an optical communication systems engineer // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Samara, 17–20 ноября 2020 года. – Samara, 2021. – P. 117931D.

2. Serezhkina, A. E., Osadchiy, I. S. Digital Competencies in the Training of Specialists in Optical Infocommunication Technologies and Communication Systems // *VII Scientific Forum "Telecommunications: Theory and Technology" TTT-2024: Proceedings of the XXII International Scientific and Technical Conference*, Samara, November 6–8, 2024. – Samara: Volga State University of Telecommunications and Informatics, 2024. – Pp. 130–131.

FEATURES OF THE FORMATION OF UNIVERSAL COMPETENCIES IN PROFESSIONAL TRAINING IN THE FIELD OF "PHOTONICS AND OPTOINFORMATICS"

[1]Anna E. Serezhkina, [2]Igor S. Osadchiy, [2]Galiakberov, L. M.
([1]Kazan National Research Technological University (KNRTU), [2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia)

Abstract.

The paper examines the features of the formation of universal competencies in professional training in the field of "Photonics and Optoinformatics."

УДК 316.77

АКТУАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ МЕДИАОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ИНДУСТРИИ МЕДИА

Столь А.Б.

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

Современная медиасреда переживает период фундаментальных изменений, вызванных цифровизацией, технологическим развитием и изменением потребительских привычек. Эти изменения ставят перед вузами, готовящими кадры для медиаиндустрии, серьезные вызовы. Можно выделить некоторые ключевые проблемы разрыва между системой образования и реальными потребностями рынка, а также наметить возможные векторы для их преодоления.

Первый вызов: Разрыв между вузом и индустрией. Первая и, пожалуй, базовая проблема лежит в плоскости коммуникации. Руководители СМИ и пресс-служб нередко отмечают, что вузы живут в своей собственной образовательной парадигме, которая далеко не всегда совпадает с запросами работодателей. Казалось бы, решением является налаживание тесного взаимодействия. Однако здесь мы сталкиваемся с двусторонней проблемой: с одной стороны, вузы не всегда гибко реагируют на изменения, а с другой – многие медийные структуры сами не имеют четкого стратегического плана развития. Их участие в подготовке кадров часто носит ситуативный, а не системный характер, что не позволяет выстроить долгосрочную и эффективную образовательную траекторию.

Второй вызов: Требование к универсальности и конвергенции. Какой же специалист нужен современной редакции? Анализ запросов рынка труда однозначно показывает растущий спрос на универсальных профессионалов. Сегодня недостаточно быть просто тележурналистом или газетным репортером. Телекомпании, например, уже не ограничиваются производством телепродукта. Они вынуждены создавать мультиплатформенный контент: для социальных сетей, интернет-ТВ, работая в форматах блогов, репортажей, рилсов и видеорекламы. Классическое телевидение активно трансформируется, уступая место новым, более гибким форматам. В научной литературе для описания этого процесса прочно укрепился термин «медиаконвергенция». Это означает сближение и объединение ранее отдельных медийных платформ, жанров и форматов: блогосферы, новостей, анимации, графики и рекламы в едином цифровом пространстве.

Третий вызов: Цифровая и техническая грамотность и новая организация труда. Этот процесс конвергенции напрямую зависит от технологий. Мы наблюдаем взрывной рост спроса на специалистов с высокой цифровой и технической грамотностью, а также со способностью к быстрому самостоятельному обучению. Технологии производства контента кардинально меняются: на смену громоздкому оборудованию приходят мобильные устройства, а обработка материала все чаще ведется «в облаке» с

использованием нейросетей прямо на смартфоне или ноутбуке. Это меняет саму структуру труда. Там, где раньше работала целая бригада, сегодня может эффективно работать один мультимедийный журналист. Коллективная работа становится распределенной и часто полностью дистанционной. Эти изменения открывают возможности для малых информагентств, которые, обладая мобильностью и низкими издержками, начинают всерьез конкурировать с медиагигантами, особенно в условиях ограниченных финансовых ресурсов. На этом фоне особую значимость приобретают сетевые СМИ и интегрированные редакции. В таких редакциях, которые условно называют «мультимедийными интегрированными редакциями», команда одновременно работает над контентом для сайта, видео, радио и социальных сетей, переформатируя и дополняя информацию. Яркий пример – пресс-служба крупного вуза или компании, которая ведет онлайн-трансляции, выпускает газету, записывает подкасты и радиопрограммы. Для работы в таких условиях требуются совершенно иные компетенции, которые зачастую не в полной мере отражены в классических учебных планах.

Если мы обратимся к региональному контексту, например, к Республике Башкортостан, то увидим, что подготовка кадров для масс-медиа сосредоточена всего в нескольких вузах, таких как УУНиТ и УГНТУ. Для повышения качества образования мы должны не просто реагировать на изменения, а с опережением закладывать в учебные планы дисциплины и практики, которые будут актуальны сегодня и в ближайшем будущем. Преодоление разрыва с индустрией через развитие партнерств, пересмотр подходов к обучению в сторону мультимедийности и универсальности, а также упор на развитие цифровых и адаптивных навыков у студентов – вот тот путь, который позволит нашим выпускникам быть востребованными и конкурентоспособными в стремительно меняющемся медиапространстве.

CURRENT CHALLENGES FOR THE MEDIA EDUCATION SYSTEM IN THE CONTEXT OF MEDIA INDUSTRY TRANSFORMATION

A.B. Stol
(Ufa State Petroleum Technological University)

Abstract: This article examines the systemic mismatch between university student training and the needs of the digital media industry. Key challenges are analyzed: media convergence, the need for versatile specialists, and digital transformation. It proposes revising curricula to be more practice-oriented and develop relevant digital competencies.

УДК 378.1:004.8

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОДГОТОВКУ ИНЖЕНЕРОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ: ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Крылова Д.С.
(Уфимский университет науки и технологий)

Современная телекоммуникационная отрасль переживает период стремительных изменений, связанных с развитием технологии и искусственного интеллекта. Эти процессы создают новые требования к подготовке инженеров, способных проектировать и обслуживать интеллектуальные коммуникационные системы. Однако традиционные формы инженерного образования не всегда обеспечивают достаточную гибкость и актуальность содержания. В этих условиях всё более актуальным становится вопрос о применении ИИ в образовательном процессе как средства повышения эффективности обучения.

Использование интеллектуальных обучающих систем позволяет повысить качество обучения за счёт персонализированных траекторий и адаптивного подбора учебного материала. Виртуальные лаборатории на базе ИИ создают возможности для проведения практических экспериментов без необходимости в дорогостоящем оборудовании. ИИ-инструменты также облегчают работу преподавателя, частично автоматизируя рутинные процессы.

Несмотря на значительный потенциал, широкое применение ИИ в образовании сопровождается рядом ограничений. Одним из ключевых факторов остаётся высокая стоимость разработки таких образовательных программ. Университетам требуются значительные инвестиции в вычислительную инфраструктуру, лицензирование программного обеспечения и обучение персонала. Техническая сложность внедрения также становится серьёзным барьером. Для эффективного функционирования ИИ-систем необходимы специалисты в области машинного обучения и кибербезопасности, которых часто не хватает в образовательных учреждениях. Объемы нагрузки на преподавателя также препятствуют мотивации для внедрения новых подходов.

Педагогические и этические вызовы не менее значимы. Возрастает вероятность академической недобросовестности: использование генеративных моделей может подменять самостоятельную работу обучающихся. Остаются нерешёнными вопросы защиты персональных данных и прозрачности работы алгоритмов.

Эффективное внедрение ИИ в подготовку инженеров-телекоммуникаций требует системного подхода и координации усилий всех участников образовательного процесса. Прежде всего, университетам необходимо развивать инфраструктуру, обеспечивающую работу интеллектуальных платформ. Не менее важным направлением является подготовка преподавателей. Педагог должен не только владеть методами применения ИИ в обучении, но и понимать его ограничения, быть готовым корректировать работу алгоритмов. Ключевое значение имеет развитие партнёрств между университетами и индустрией.

Совместные проекты с компаниями позволят обеспечить актуальность содержания и практическую направленность обучения.

Интеграция искусственного интеллекта в систему подготовки инженеров-телекоммуникаций является не просто технологическим и педагогическим вызовом, но и требованием объективной реальности. Идёт переосмысление роли преподавателя, необходимо обновление инфраструктуры и выстраивание этически обоснованных механизмов работы. Однако при грамотном подходе ИИ способен существенно повысить качество образования, сделать обучение более персонализированным, практикоориентированным и соответствующим современным требованиям индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Есип И. М. Искусственный интеллект в образовании: роль учителя и новые возможности. // Цифровой мир: перспективы и угрозы для человеческой цивилизации. Сборник материалов Международной научно-теоретической конференции. М., 2023. С. 186 – 191.

2. Abdurohman N.R. Artificial Intellegence In Higher Education: Opportunities and Challenges // Eurasian science review. 2025. vol. 2, no. Special Issue, pp. 1683–95.

AI INTEGRATION INTO TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING EDUCATION: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

Krylova D.

(Ufa University of Science and Technology)

The paper examines the integration of artificial intelligence into telecommunications engineering education as a key factor in modernizing training programs. It highlights the potential of intelligent tutoring systems and virtual laboratories to enhance personalization, practical learning, and teaching efficiency while outlining major technical, ethical, and organizational challenges. The study emphasizes the need for infrastructure development, faculty training, and university–industry partnerships to ensure the effective and ethical use of AI in higher education.

Секция 8. Антенно-фидерные устройства специальной связи

УДК 621.396.677

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПАТЧ АНТЕНН МЕТОДОМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ МОД

Редкозуб Ю.В, Смусева К.В., Усков Г.К.
(Воронежский государственный университет)

Актуальность метода характеристических мод (CMA) в антенной инженерии обусловлена его способностью раскрывать физику резонансов и излучения патч-антенн, определяя их частоты и значимость мод. Он упрощает оптимизацию геометрии и запитки, позволяя создавать компактные антенны с улучшенным согласованием и поляризационными характеристиками без длительных итераций [1].

Метод характеристических мод анализирует ортогональные токи $\boldsymbol{J_n}$ на проводящей поверхности, зависящие только от её геометрии [2]. Модальная значимость

$$\mathrm{MS}_n = \frac{1}{|1 + j\lambda_n|} \qquad (1)$$

определяет вклад моды в излучение (рис. 1.).

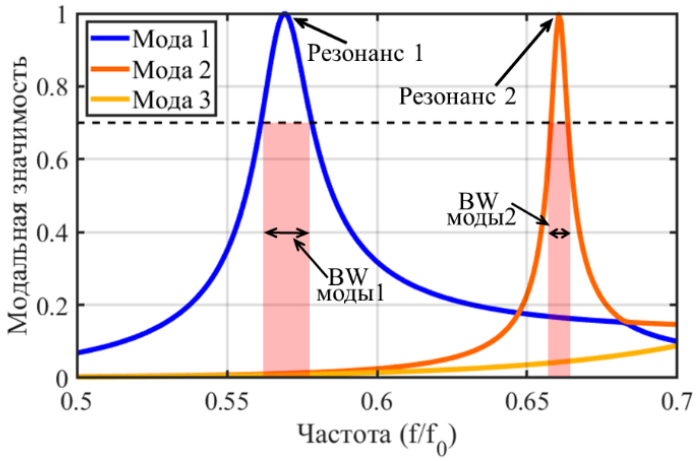


Рис. 1. Определение модальной значимости

Для оценки излучающей способности патч антенн проведено исследование резонансного поведения патчей различных геометрических форм. В качестве объектов анализа были выбраны патчи следующих форм: круг, эллипс, квадрат, равносторонний треугольник, прямоугольник и квадрат, что позволило охватить широкий спектр типичных планарных излучателей.

Исследование токов (рис.2) первой моды методом CMA для патч-антенн без возбуждения показало, что среди всех рассмотренных геометрических форм патчей, оптимизированных на резонансную частоту первой моды 2,4 ГГц, наименьшие максимальные габариты демонстрирует круглый элемент с диаметром 34 мм, что делает его наиболее компактным вариантом по сравнению с квадратными, прямоугольными, эллиптическими, треугольными и

пятиугольными структурами. При этом вытянутые формы, такие как эллипс и прямоугольник, хоть и имеют несколько большие габариты, обладают важной особенностью — их геометрия способствует формированию мод с разными резонансными частотами, что открывает возможность для реализации двухдиапазонных антенн.

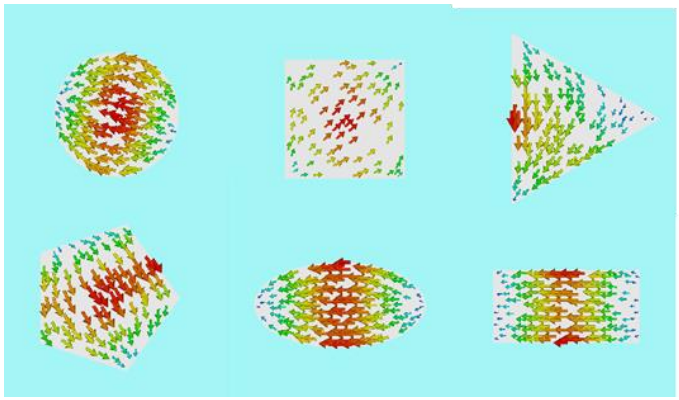


Рис. 2. Распределение токов 1 моды на частоте 2.4 ГГц для различных геометрических фигур

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, https://rscf.ru/project/24-19-00891/.

Для выполнения измерений в работе использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцового и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ» в рамках реализации федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. J. Garbacz and R. H. Turpin, A generalized expansion for radiated and scattered elds, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 19, no. 3, pp. 348358, 1971.
2. R. F. Harrington and J. R. Mautz, The The ory of Characteristic Modes for Conducting Bodies, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 19, no. 5, pp. 622628, 1971.

INVESTIGATION OF THE RADIATING CAPACITY OF PATCH ANTENNAS BY THE METHOD OF CHARACTERISTIC MODES

Redkozub Yu.V, Smuseva K.V., Uskov G.K.
(Voronezh State University)

The article describes influence of geometric shapes of patch antennas on their resonant properties using the characteristic mode method. Geometry affects currents and resonance: elongated shapes limit the first mode tendencies, while symmetrical shapes enhance them.

УДК 621.371.399

МЕТОДИКА СВЧ РАДИОМЕТРИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ

Моргачева В. С., Смусева К. В., Усков Г.К.
(Воронежский государственный университет)

В работе предложена методика СВЧ-радиометрии, ориентированная на исследование влияния растительного покрова на параметры антенно-фидерных систем и характеристик каналов распространения радиосигналов. Рассматривается упрощённая модель, связывающая электродинамические свойства среды с коэффициентами передачи антенных трактов.

Скорость роста растительного покрова введена через прирост фитомассы во времени:

$$\upsilon = \frac{dV}{dt}$$

что позволяет формализовать изменение электрофизических параметров среды.

Электромагнитная модель растительности задаётся двухкомпонентной структурой «растительный слой – воздух» с эффективной диэлектрической проницаемостью [1]:

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \frac{\varepsilon_{\text{р}}(1 + pu) + u(1 - p)}{\varepsilon_{\text{р}}(1 - p) + p + u}$$

где $10 \leq u \leq 20$ – коэффициент, зависящий от формы элементов растительности, $\varepsilon_{\text{р}} = \varepsilon_{\text{в}}\rho_{\text{р}}$ – диэлектрическая проницаемость растительного покрова, где $\varepsilon_{\text{в}}$ – диэлектрическая проницаемости воды, $\rho_{\text{р}}$ – объемное влагосодержание элемента растительности.

Эффективная диэлектрическая проницаемость растительного покрова и s-параметры связаны коэффициентом экстинкции, который является своего рода коэффициентом затухания в растительности [2]:

$$\gamma = \left|\frac{1 - \sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}}'}}{1 + \sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}}'}}\right|^2$$

Тогда, напряженность поля с растительностью определяется как $E_1 = E_0 e^{-\gamma r}$, где E_0- напряженность поля без растительности, r - расстояние между антеннами.

Коэффициент передачи $|S21|$ связывает уровни напряжённостей:

$$|S_{21}| = |E_1/E_0|$$

Численные исследования в CST Studio Suite выполнены для модели кукурузного покрова в разных фазах вегетации. На частотах диапазона 1,5–2,0 ГГц получены следующие значения:

- фаза прорастания: |S21| ≈ –20 дБ, что соответствует умеренному поглощению радиоволн при низкой биомассе и малом влагосодержании;
- фаза цветения: |S21| = –60…–70 дБ, что указывает на значительные потери в канале из-за высокой плотности листьев и влаги;

- фаза созревания плодов: |S21| = –60…–80 дБ, при этом на частоте 1,8 ГГц наблюдается частотная избирательность, связанная с частичным снижением влагосодержания.

Таким образом, рост биомассы и динамика водосодержания напрямую влияют на параметры распространения и работу антенно-фидерных трактов. Использование радиометрической методики позволяет заранее прогнозировать характеристики каналов, учитывать влияние сезонных факторов и корректировать параметры антенн и линий передачи.

Предложенный подход применим при проектировании и эксплуатации антенно-фидерных устройств специальной связи, работающих в условиях сложной среды распространения — от лесистых территорий до сельскохозяйственных массивов. Методика позволяет не только оценивать коэффициенты передачи и потерь, но и разрабатывать рекомендации по размещению, конфигурации и ориентации антенн для обеспечения устойчивости радиоканалов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, https://rscf.ru/project/24-19-00891/.

Для выполнения измерений в работе использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцового и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ» в рамках реализации федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шутко А. М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1985. 215 с.

2. Jha K. K., Singh K. P., Singh R. N. Microwave response of green vegetation // Proceedings of the Indian Academy of Sciences - Section A. 1982. Vol. 91, no. 3. P. 209–217

METHODOLOGY OF MICROWAVE RADIOGRAPHY OF VEGETABLE COVERINGS

Morgacheva V. S., Smuseva K. V., Uskov G. K.

(Voronezh State University)

The article investigates the influence of geometric shapes of patch antennas on their resonant properties using the characteristic mode method. It is shown that antenna geometry determines current distribution and resonance behavior: elongated shapes suppress the excitation of the fundamental mode, while symmetrical geometries enhance its stability and resonance efficiency.

УДК 537.862

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗОНДИРОВАНИЯ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ АПЕРТУРНОЙ АНТЕННЫ С УЧЁТОМ ВЕКТОРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Кононов А.А., Усков Г.К.

(Воронежский государственный университет)

Удобство апертурного подхода в анализе полей излучения различных антенных устройств обусловлено высокой общностью по отношению к расположению точки наблюдения **r** и структуре источника радиоволн [1, 2]. Для расчёта поля (по умолчанию — комплексной амплитуды вектора электрической напряжённости **E**) нужно знать его распределение $\mathbf{E}_a$ на апертуре, определяемое теоретически (с учётом структуры облучателя) или экспериментально — по измерениям в ближней зоне антенны, выполняемым, например, с помощью малогабаритного зонда [3], ЭДС на выходе которого можно представить в виде

$$\mathrm{E}_{rx} = \mathbf{h}^{\mathbf{T}}\left(\mathbf{e}_{\mathbf{EH}}\right)\cdot\mathbf{E}_{\mathbf{rx}}, \qquad (1)$$

где **h** — комплексная действующая длина зонда в режиме передачи [4];

$\mathbf{E}_{\mathbf{rx}}$, $\mathbf{H}_{\mathbf{rx}}$ — напряжённости принимаемых полей в отсутствие зонда;

$\mathbf{e}_{\mathbf{EH}}$ — локальное направление на источник волн, противоположное направлению распространения, заданному вектором Пойнтинга **S**:

$$\mathbf{e}_{\mathbf{EH}} = -\mathbf{S}/|\mathbf{S}|, \quad \mathbf{S} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\mathbf{E}_{\mathbf{rx}}, \mathbf{H}^{*}_{\mathbf{rx}}\right]. \qquad (2)$$

Направления $\mathbf{e}_{\mathbf{EH}}$ априори неизвестны, однако, как правило, их отклонение $\Delta\alpha$ от нормалей $\mathbf{n}_a$ к апертуре не очень велико; если оно не выходит за пределы «сектора изотропности» зонда, где $\mathbf{h} \approx const$, то в (1) можно положить $\mathbf{e}_{\mathbf{EH}} \approx \mathbf{n}_a$. Кроме того, в (1) учитывается лишь поперечная компонента поля $\mathbf{E}_t$ (продольная в ближней зоне может быть ненулевой, но обычно на практике достаточно мала).

В качестве иллюстрации приведём данные моделирования прямоугольной рупорной антенны, выполненного численно в CST Studio Suite. На рис. 1 показан общий вид рупора с распределениями $\mathbf{e}_{\mathbf{EH}}$ (направления оценены согласно (2)) и $|\mathbf{E}_a|$, а на рис. 2 — отклонение $\Delta\alpha$ и отношение $|\mathbf{E}_t|$ к $|\mathbf{E}|$, представляющее собой «коэффициент плоской волны» (КПВ). Видно, что $\Delta\alpha$ возрастает, а КПВ убывает только на краях (где поле вносит уже не столь значительный вклад).

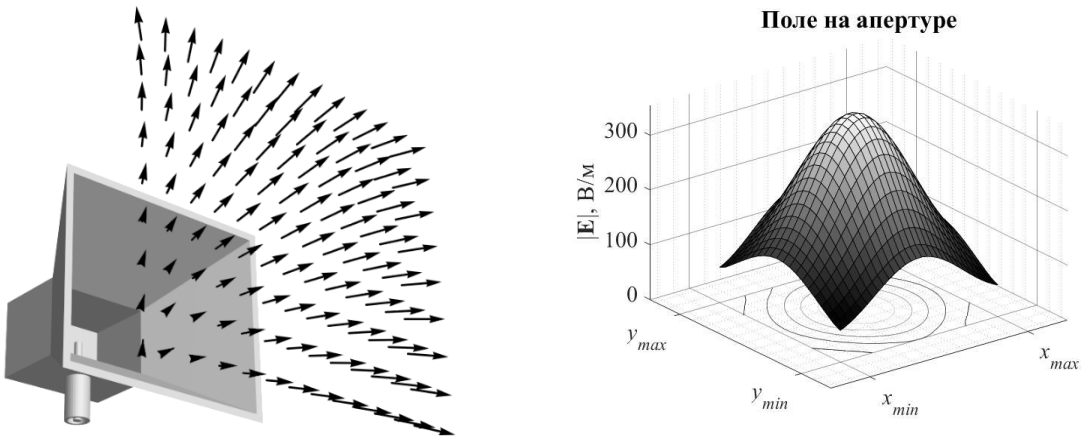


Рис. 1. Рупорная антенна и распределение величины поля на её апертуре

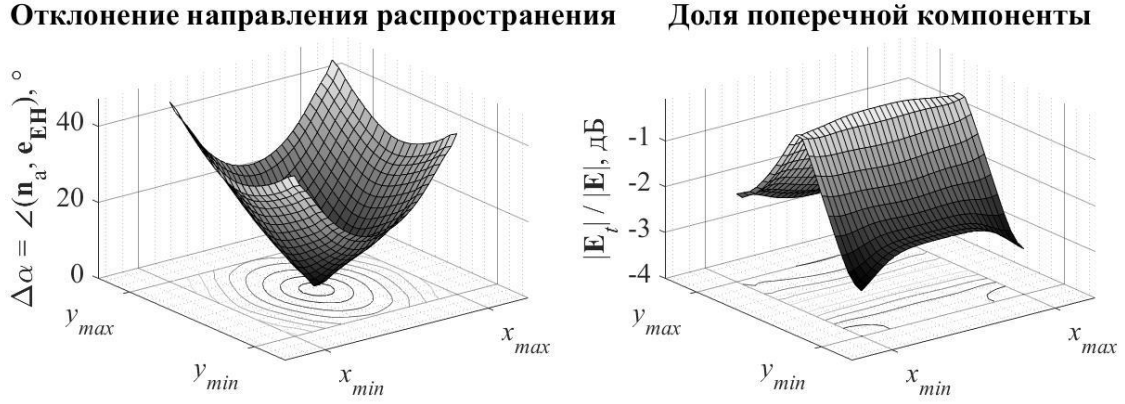


Рис. 2. Характеристики излучения рупорной антенны

Усреднённые значения Δα и КПВ, взвешенные с помощью модуля вектора **S**, равны соответственно ≈16,42° и ≈87,32%, что свидетельствует о возможности достаточно точного зондирования ближнего поля.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, https://rscf.ru/project/24-19-00891/. Для выполнения численных расчетов в работе использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцового и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ» в рамках реализации федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. М.: Высшая школа, 1988. 432 с.

2. Кононов А. А., Усков Г. К. Способы теоретического расчёта векторной структуры электромагнитного поля в ближней зоне апертурного излучателя // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2025. Т. 8, № 5. С. 687–703.

3. Кононов А. А., Усков Г. К. Аналитическая модель малогабаритного зонда для измерений электромагнитного поля // «Информатика: проблемы, методы, технологии»: сб. мат-лов XXV Междунар. науч.-практ. конф. 2025. С. 1110–1119.

4. Stutzman W. L., Thiele G. A. Antenna Theory and Design. Wiley, 2012. 848 p.

ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF PROBING AN APERTURE ANTENNA NEAR FIELD TAKING INTO ACCOUNT VECTOR EFFECTS

Kononov A.A., Uskov G.K.
(Voronezh State University)

The paper considers the possibility of experimentally studying the near field of an aperture antenna with a small-sized measuring probe. The approximations contained in the previously developed analytical model of the probe are discussed, and quantitative estimates are given to justify their validity and applicability of the model.

УДК 621.396.69

РАЗРАБОТКА ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА: МЕТОДИКА И ПРАКТИКА

Круглов А.С.
(АО «НПО Ангстрем»)

В многоканальных радиосистемах необходимы фильтры для раздельной обработки сигналов с одной антенны и для подавления помех между разными радиосредствами на одном объекте [1, 2]. В данном докладе представлена методика разработки четырехканального фильтра на примере диплексера десятого порядка с использованием эллиптических фильтров. При этом к фильтру предъявлялись следующие требования: мощность – до 140 Вт для диапазона УВЧ и до 60 Вт для диапазона ОВЧ; затухание в полосе частот – не более 2 дБ; КСВН ≤ 1,7 при входном сопротивлении 50 Ом.

Разрабатываемый фильтр состоит из трёх последовательно соединённых диплексеров и двух фильтров низких (ФНЧ) и высоких (ФВЧ) частот. Была разработана структурная схема фильтра с делением диапазона частот на четыре канала. Также был предложен алгоритм разработки ячейки фильтра:

- синтез модели на идеальных компонентах;
- проверка на рассогласованной нагрузке с КСВ ≥ 3;
- расчёт на большом сигнале до 140 Вт для выбора реальных LC-компонентов;
- моделирование с реальными компонентами из библиотек с оптимизацией параметров;
- проверка устойчивости при рассогласованной нагрузке;
- моделирование топологии с учётом паразитных эффектов микрополосковых линий;
- проверка допуска номинала компонентов и оценка влияния на параметры.

Для работы с большими токами и напряжениями требуется параллельное включение двух катушек индуктивности для достижения необходимого запаса по току. Оптимальный подбор емкостей позволяет сохранить характеристики фильтра при замене идеальных компонентов на реальные. Расчёты с рассогласованной нагрузкой позволяют гарантировать стабильные параметры и электрическую прочность компонентов при работе на реальной нагрузке.

При синтезе и расчете характеристик разрабатываемого фильтра выполнялось последовательное моделирование каждой ячейки и их последующая интеграция в общий проект фильтра. Модель топологии учитывала паразитные емкости и индуктивности, а также определяла размеры компонентов и материал печатной платы. EM-структуры для повышения точности моделирования при сохранении скорости расчётов разбивались на элементарные ячейки, которые рассчитываются быстрее.

На основе проведенных расчетов была выполнена практическая реализация четырехканального фильтра. Были проведены измерения АЧХ разработанного образца. Соответствующие результаты представлены на рисунке

1. При этом результаты измерений реализованного образца хорошо совпали с результатами моделирования.

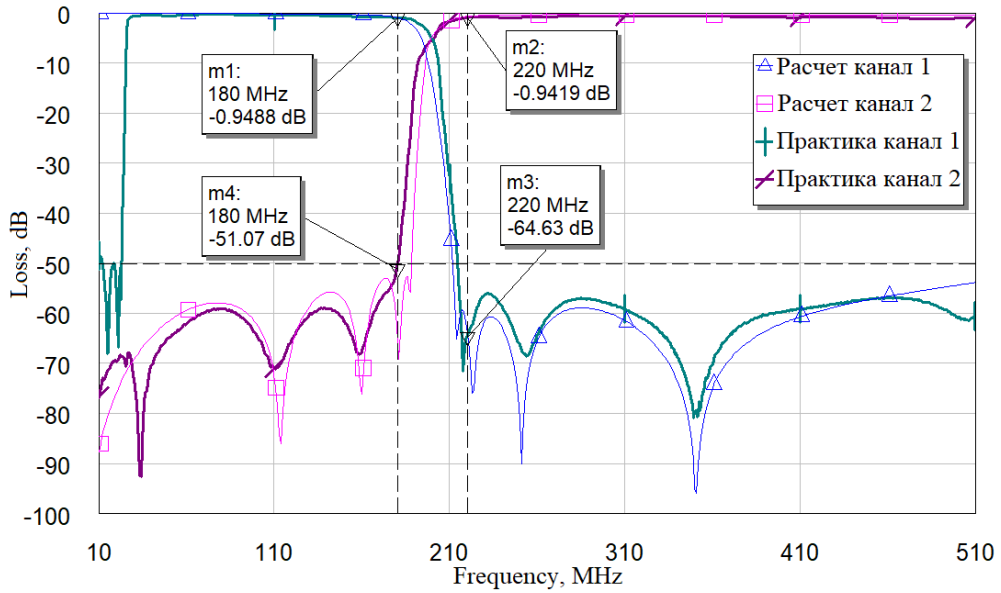


Рис. 1. АЧХ образца, полученные расчетным и экспериментальным путем

Полученные в ходе исследований термограммы показывают нагрев компонентов при номинальных мощностях, что подтверждает необходимость запаса по току и электрической прочности при проектировании.

Таким образом, в настоящем докладе представлена эффективная методика проектирования и моделирования сложных фильтров ОВЧ/УВЧ диапазонов с учетом реальных условий работы и компонентов. Предложенный подход повысил скорость и качество разработки изделия, обеспечивая жизнеспособность фильтров на практике. Полученные результаты могут помочь инженерам-разработчикам улучшить собственные изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Zverev, Handbook of Filter Synthesis // John Wiley & Sons, Inc., New York, 1967.

2. Jeff Kahler An Efficient and Accurate High-Frequency Diplexer, Duplexer, Triplexer, and N-Plexer Design Flow // High Frequency Electronics, 2019.

DEVELOPMENT OF A FOUR-CHANNEL FILTER: METHODOLOGY AND PRACTICE

Kruglov A.S.
(JSC "NPO Angstrem")

Abstract. This report presents a methodology for developing a four-channel filter using a tenth-order diplexer using elliptical filters as an example. The proposed approach increased the speed and quality of product development.

УДК 621.396.67.012.12

АНАЛИЗ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН НА МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Круглов А.С.
(АО «НПО Ангстрем»)

Целями проведенных исследований являлись анализ влияния формы кузова мобильного объекта на диаграмму направленности (ДН) сверхширокополосных (СШП) вибраторных антенн, а также определение оптимальной конструкции СШП антенны и их места расположения. При этом рассматривалось несколько моделей мобильных объектов с разной формой корпуса, а также различные варианты СШП вибраторных антенн: совмещенная симметричная вибраторная (АД-30/420-БВ), несимметричная вибраторная (АШ-30/220-БВ, БШДА), совмещенная несимметричная вибраторная с разбиением полотна на участки (Shakespeare).

В результате проведенных исследований было установлено, что коэффициент усиления (КУ) рассмотренных антенн зависит от типа объекта и конструкции антенны, что вполне очевидно с физической точки зрения. При этом наибольшее влияние объекта установки наблюдается на несимметричные вибраторные антенны на верхнем участке рабочего диапазона, так как корпус объекта в данном случае является частью антенны (противовесом).

Было показано, что симметричная вибраторная антенна АД-30/420-БВ имеет наименьшую зависимость КУ и ДН от формы кузова, так как её излучающий элемент расположен выше элементов на поверхности объекта. Нижняя часть полотна антенны Shakespeare сильно затеняется элементами объекта, что сказывается на ДН в верхней части диапазона частот.

Установлено, что ДН антенн при установке на разные типы мобильных объектов могут значительно искажаться. В таблицах 1 – 4 представлены результаты расчетов неравномерности ДН в азимутальной плоскости рассматриваемых антенн, соответственно. Как видно из представленных результатов, неравномерность ДН меняется в зависимости от формы объекта и места крепления, достигая 12 дБ. При этом совмещенные несимметричные вибраторные антенны при установке на объект имеют более высокую неравномерность ДН, чем симметричные.

В результате проведенных исследований было установлено, что оптимальная конструкция совмещенной СШП вибраторной антенны – симметричная. Также можно сформулировать некоторые рекомендации по размещению антенн на подвижных объектах: вибраторные антенны следует располагать в центре крыши или максимально близко к центру, чтобы минимизировать влияние корпуса.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: - для снижения влияния мобильного объекта на ДН предпочтительнее использовать симметричную вибраторную конструкцию с поднятым излучающим элементом; - измерения ДН и КУ антенн на стандартных

металлических листах при производстве не всегда отражают истинную ДН при установке на реальный мобильный объект; - корпус техники является частью антенны и влияет на ее параметры, особенно на несимметричные конструкции

Таблица 1

Неравномерность ДН в азимутальной плоскости АД-30/420-БВ

Частота, МГц	Неравномерность ДН в азимутальной плоскости, дБ					Среднее, дБ
	Т72	БМП	БТР	КамАЗ	Тигр	
30	2	3	3	2,5	2,5	2,6
70	2	1,5	2	3,5	1	2
180	13	10	10	5	14	10,4
220	3	6	3	1,5	4	3,5
345	2	4	4	4	6	4
445	8	5	8	6	5	6,4

Таблица 2

Неравномерность ДН в азимутальной плоскости Shakespeare

Частота, МГц	Неравномерность ДН в азимутальной плоскости, дБ					Среднее, дБ
	Т72	БМП	БТР	КамАЗ	Тигр	
30	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,3
70	3,5	4,5	3	2	1	2,8
120	4	10	5	2	4,5	5,1
180	6	10	4,5	2,5	11	6,8
220	8	10	6,5	3,5	12	8
345	6	12	8	9	13	9,6
445	9	12	12	11	12	11,2

Таблица 3

Неравномерность ДН в азимутальной плоскости АД-30/420-БВ

Частота, МГц	Неравномерность ДН в азимутальной плоскости, дБ					Среднее, дБ
	Т72	БМП	БТР	КамАЗ	Тигр	
30	2	3	2,5	3,5	3,5	2,9
70	7	6	4	3	2	4,4
120	3	2,5	3	2	3	2,7
180	5,5	6	8	3,5	10	6,6

Таблица 4

Неравномерность ДН в азимутальной плоскости БШДА

Частота, МГц	Неравномерность ДН в азимутальной плоскости, дБ					Среднее, дБ
	Т72	БМП	БТР	КамАЗ	Тигр	
30	1,5	3	3	3,5	2,5	2,7
70	1	2	2	2	2	1,8
100	10	13,5	12	11	7	10,7

ANALYSIS OF THE RADIATION PATTERNS OF ULTRA-WIDEBAND ANTENNAS ON MOBILE OBJECTS

Kruglov A.S.
(JSC "NPO Angstrem")

Abstract. The report presents the researches results of the influence of the body shape of a mobile object on the radiation pattern of ultra-wideband dipole antennas, as well as determining the optimal design of ultra-wideband antennas and their location. Several models of mobile objects with different body shapes were considered, as well as various models for ultra-wideband dipole antennas.

УДК 621.396.6

СОЗДАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ АНТЕНН ДЛЯ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

Волков А.Н., Летов А.В., Можгинский В.Л.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им А.Н. Туполева)

Для подготовки специалистов и проведения исследований в области радиоэлектронных систем и передачи данных на кафедре РТС КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева создаётся лабораторный комплекс, позволяющий изучать связь в КВ и УКВ диапазонах, и с геостационарными спутниками.

Для создания комплекса на производстве фирмы «Радиал» были изготовлены:

- широкополосная КВ-антенна CityWindom (3-30 МГц);
- резонансная КВ-антенна LW-RX (антенна Цеппелин) (0,5-30 МГц);
- эксперементальная вертикальная широкополосная УКВ-антенна AW0 (100-450 МГц);
- вертикальная резонансная UHF-антенна A5 (403-470 МГц).

Для работы с геостационарными спутниками студентом кафедры РТС Летовым А. В. была разработана и изготовлена антенна диапазона 240-320 МГц с круговой поляризяцией.

Лабораторный комплекс (рис. 1) позволит студентам проводить:

- одновременный прием радиосигналов на 8-ми рабочих местах в КВ диапазонах;
- одновременный прием радиосигналов на 8-ми рабочих местах в УКВ диапазонах;
- одновременный прием радиосигналов на 8-ми рабочих местах с геостационарных спутников;

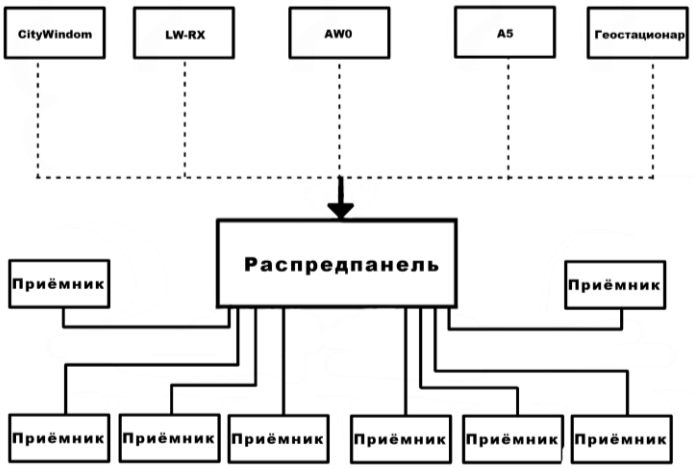


Рис. 1. Схема лабораторного комплекса

В перспективе лабораторный комплекс планируется модернизировать для:

- изучения работы междиапазонных ретрансляторов УКВ диапазона (Cross Band);
- изучения работы сборного ретранслятора из двух радиостанций УКВ диапазонас использованием контроллеров ретранслятора, диплексеров и дуплексера;
- изучения прохождения радиоволн в КВ диапазонах с помощью WSPRnet;
- приема радиосигналов DMR УКВ диапазоне с помощью SDR приемников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ротхаммель К. Антенны. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 432 с.
2. SDR (Software-Defined Radio) Technology: Principles and Applications / U. Rohde, M. Rudolph. – Wiley, 2013. – 512 p.
3. Техническая документация на SDR-приемники RTL-SDR [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rtl-sdr.com/.

CREATION AND MANUFACTURE OF ANTENNAS FOR THE BASIS OF A LABORATORY COMPLEX

Volkov A. N., Letov A.V., Mozhginskiy V. L.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev)

To train specialists and conduct research in the field of radio electronic systems and data transmission, a laboratory complex is being created at the Department of RTS of the A. N. Tupolev KNRTU-KAI, which allows studying communications in the VHF and UHF bands, and with geostationary satellites.

УДК 621.396.677

СИНТЕЗ НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННЫ KU-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Тишакова П.В., Смусева К.В., Усков Г.К.
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»)

Радиоголография представляет собой метод записи, восстановления и преобразования волнового фронта электромагнитного излучения радиодиапазона. Радиоголография применяется, в частности, для моделирования антенн, измерения их параметров и исследования удаленных объектов [1-2].

В работе выполнен синтез излучающих элементов с использованием радиоголографического подхода для третьего поддиапазона Ku-диапазона (12,5–12,75 ГГц). Подложка выбрана из материала Rogers RT/duroid 6010LM (ε = 10,7), размеры 200 × 200 мм. Амплитудно-фазовое распределение задавалось металлическими ячейками, размеры которых пропорциональны амплитуде поля. В качестве опорного источника использован четвертьволновый диполь, формирующий сферический фронт, а объектная волна представляла собой плоский фронт под заданным углом.

Интерференционная картина, полученная при совместном возбуждении двух источников, выгружалась в среду Matlab, где был реализован алгоритм синтеза антенны: считывание данных поля, нормировка, формирование сетки, вычисление размеров металлических квадратов и автоматическая генерация структуры в CST Studio Suite. Далее модель антенны возбуждалась тем же четвертьволновым диполем.

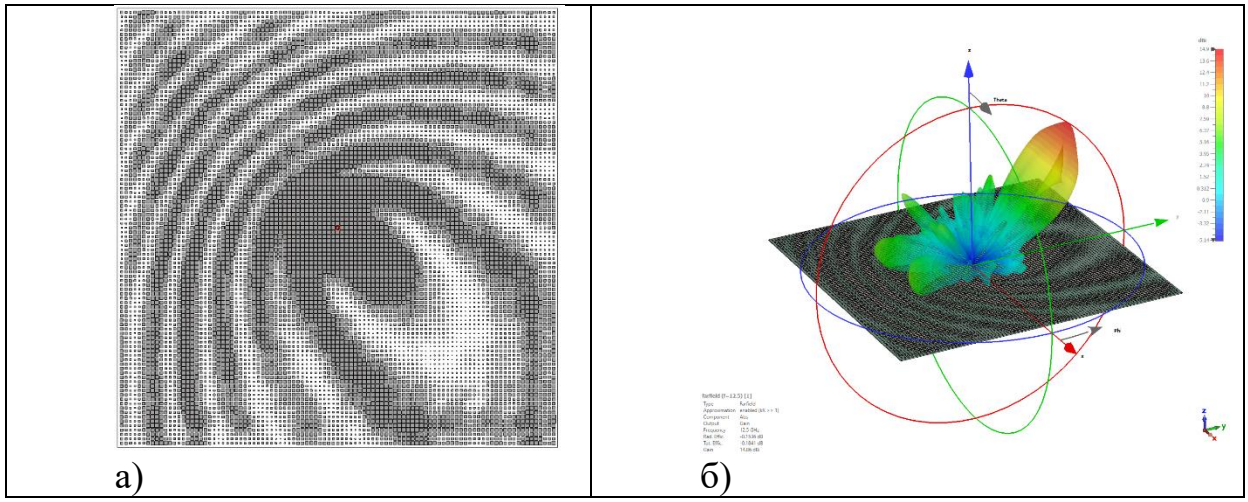


Рис. 1. Внешний вид синтезированной голографической антенны а) и ее диаграмма направленности на центральной частоте б)

Анализ характеристик показал, что оптимальными параметрами для синтеза голографической антенны являются шаг сетки 2 мм а максимальный размер металлической ячейки 1,8 мм. Такая конфигурация обеспечивает устойчивую работу в диапазоне 11,2–13,5 ГГц. При частоте 12,5 ГГц

направление главного лепестка диаграммы направленности составляет 45°, коэффициент усиления достигает 12,5 дБи, уровень боковых лепестков — около –4 дБи.

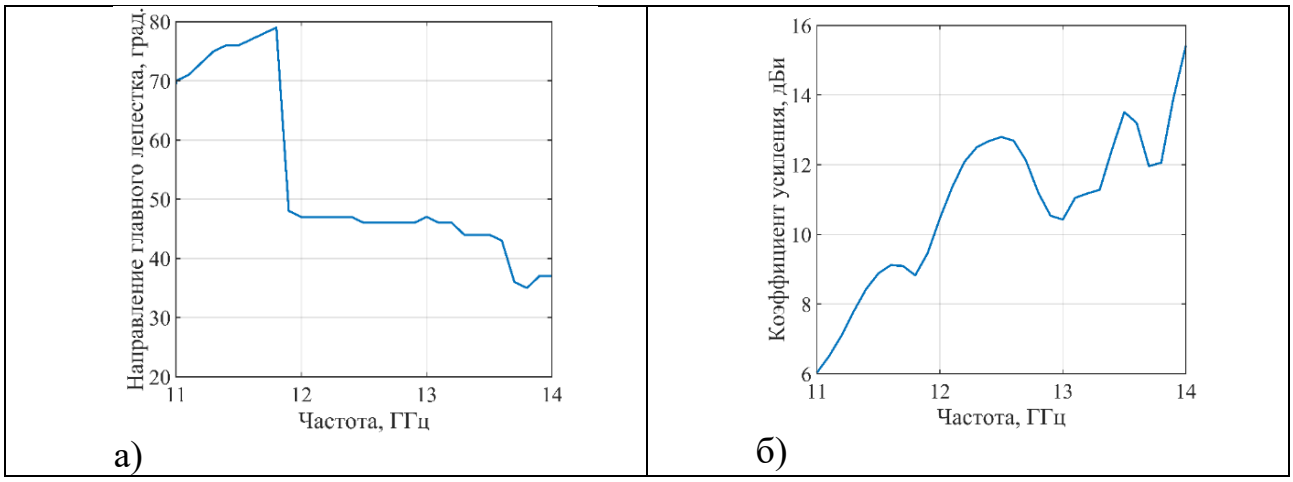


Рис. 2. Зависимости а) направления главного лепестка, б) коэффициента усиления и для φ=45° и θ=45°

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, https://rscf.ru/project/24-19-00891/.

Для выполнения измерений в работе использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцового и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ» в рамках реализации федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронов Г. С., Сафронова А. П. Введение в радиоголографию. М.: Сов. радио, 1974. 288 с.
2. C. Rusch, S. Beer, P. Pahl and T. Zwick, "Multilayer holographic antenna with beam scanning in two dimensions at W-band," 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, 2013, pp. 2625-2628.

SYNTHESIS OF A KU-BAND DIRECTIVE ANTENNA BASED ON THE RADIOHOLOGRAPHIC APPROACH

Tishakova P.V, Smuseva K.V., Uskov G.K.
(Voronezh State University)

The article describes Ku-band (12.5–12.75 GHz) antenna element synthesis using a radioholographic approach. Modeling in CST Studio Suite and Matlab enabled structure formation. The antenna shows stable operation (11.2–13.5 GHz), 12.5 dBi gain, ~45° main lobe direction, and acceptable sidelobe suppression, confirming high efficiency.

УДК 621.396.67

ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Нескородова О.В., Усков Г.К., Кононов А.А.
(Воронежский государственный университет)

Антенные решётки (АР) широко используются в различных радиоэлектронных системах [1, 2]. При этом в прецизионных разработках нередко приходится учитывать взаимное влияние антенных элементов (АЭ), из-за которого вместо своей исходной диаграммы направленности (ДН) каждый АЭ характеризуется т. н. парциальной ДН, содержащей некоторые искажения.

Как известно [2, 3], взаимное влияние АЭ можно описывать с помощью линейной модели, в рамках которой парциальная ДН m-го АЭ имеет вид

$$\mathbf{D}_m^{(p)}(\theta,\varphi)=\sum_n c_{nm}\mathbf{D}_n(\theta,\varphi), \qquad (1)$$

где $\mathbf{D}_n$ — ДН, которой характеризовался бы изолированный n-й АЭ (т. н. идеальная ДН), а коэффициент c_{mn} показывает, с какими амплитудой и фазой сигнал, подключенный к входному порту номер m, переизлучился с АЭ номер n.

Согласно (1), разница между парциальной и идеальной ДН может быть представлена как суперпозиция идеальных ДН всех АЭ. Это соответствует гипотезе о том, что взаимное влияние сводится к последовательным частичным переизлучениям. На практике, однако, в ближнем поле АЭ могут иметь место более сложные процессы, приводящие к качественно новым искажениям в форме ДН (особенно при достаточно большом размере АЭ, когда существенной становится несинфазность распределения токов на нём).

Рассмотрим упрощённую ситуацию: пусть 2 идентичных диполя длины L размещены на расстоянии L и наклонены на 45° (рис. 1). Для них (1) даёт

$$\mathbf{D}_2^{(p)}=c_{12}\mathbf{D}_1+c_{22}\mathbf{D}_2 \Rightarrow \Delta\mathbf{D}_2\equiv\mathbf{D}_2^{(p)}-\mathbf{D}_2=c_{12}\mathbf{D}_1+(c_{22}-1)\mathbf{D}_2\approx c_{12}\mathbf{D}_1 \qquad (2)$$

если $c_{nn}\approx 1$ (как это обычно бывает при не слишком сильном взаимном влиянии [5, 6]). Значит, о применимости линейной модели можно судить по сходству формы $\mathbf{D}_1(\theta,\varphi)$ и поправки $\Delta\mathbf{D}_2(\theta,\varphi)$ к ДН 2-го АЭ. На рис. 2 показаны результаты численного электродинамического моделирования, выполненного в CST Studio Suite при $L=\lambda/2$ и $L=\lambda$ (ДН нормированы на максимум).

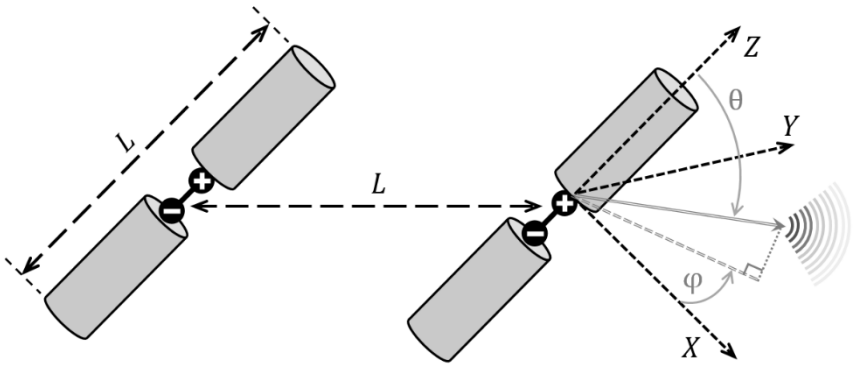


Рис. 1. Модель двух взаимодействующих АЭ в виде дипольных антенн

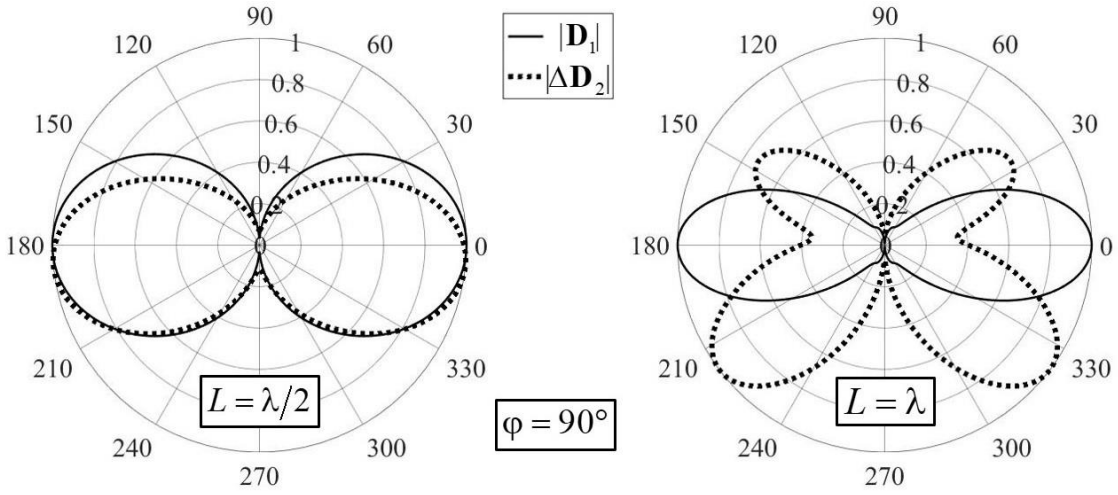


Рис. 2. Сравнение ДН изолированных АЭ и поправок к ним

Как видно, при $L = \lambda$ поправка к ДН 2-го АЭ существенно отличается по форме от идеальной ДН 1-го АЭ, следовательно, предположение о связи применимости линейной модели взаимного влияния АЭ с их электрически малыми размерами подтверждается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. М.: Высшая школа, 1988. 432 с.

2. Steyskal H., Herd J. Mutual Coupling Compensation in Small Array Antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1990. Vol. 38, No. 12. P. 1971–1975.

3. Бажанова О. В., Кононов А. А. Исследование коэффициентов взаимного влияния в двухполяризационных антенных решётках // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2023. Т. 26, № 4. С. 78–87.

BOUNDARIES OF APPLICABILITY OF THE LINEAR MODEL OF ANTENNA ARRAY ELEMENTS MUTUAL COUPLING EFFECTS

Neskorodova O.V., Uskov G.K., Kononov A.A.
(Voronezh State University)

The paper addresses the applicability conditions of the previously developed linear model used for analyzing the antenna array elements mutual coupling effects. Some limitations associated with the radiator size are revealed, and a specific example is provided as an illustration.

УДК 621.372.22

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАВНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ ПЕРЕХОДОВ В ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ

Панин Д.Н., Моисеев А.Д.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные радиотехнические системы, работающие в сверхвысокочастотных (СВЧ) и крайневысокочастотных (КВЧ) диапазонах, предъявляют высокие требования к качеству и эффективности элементов, обеспечивающих передачу энергии и сигналов. Одним из важнейших аспектов проектирования таких устройств является создание согласующих переходов, которые позволяют соединять линии передачи с различными геометрическими параметрами и волновыми сопротивлениями [1]. Эффективные плавные переходы позволяют минимизировать отражения и потери энергии, что особенно важно при широкополосной работе радиотехнических систем. В частности, такие переходы находят широкое применение в высокоэффективных антенно-фидерных устройствах, используемых в системах специальной связи. В этих системах крайне важна высокая точность согласования между линиями передачи и антеннами, чтобы обеспечить максимальную передачу мощности и минимальные уровни отражений, что критично для надежности и эффективности связи в условиях сложных радиофизических условий и необходимости высокой помехозащищенности. Плавные согласующие переходы позволяют добиться гладкого изменения волнового сопротивления вдоль линии, что способствует снижению паразитных эффектов, таких как отражения и паразитные резонансы, повышая тем самым эффективность передачи сигнала, особенно при больших диапазонах частот и в условиях необходимости широкополосной работы. Теоретические основы разработки таких элементов базируются на моделировании электромагнитных волн и свойствах неоднородных линий передачи, параметры которых зависят от координаты. Особенно широко применяются микрополосковые линии, параметры которых — емкость, индуктивность, проводимость — определяют волновое сопротивление и фазовую скорость. В процессе синтеза согласующих переходов используют разнообразные профили: экспоненциальные, чебышевские, кусочно-линейные и вероятностные. Каждый из них обладает своими преимуществами и ограничениями, что определяет выбор в зависимости от конкретных требований к ширине полосы пропускания, простоте реализации и технологичности. Математический аппарат включает системы телеграфных уравнений, уравнения для коэффициента отражения и методы численного интегрирования, что позволяет моделировать поведение электромагнитных волн вдоль линии передачи. Важной задачей является оптимизация профиля сопротивления, которая реализуется с помощью различных алгоритмов — градиентных, эволюционных и методов на основе градиентного спуска. Эти

методы позволяют минимизировать коэффициент отражения и обеспечить широкополосную работу согласующего перехода. Современные подходы к численному анализу включают построение математической модели, дискретизацию расчетной области, решение систем уравнений и подбор оптимальных параметров профиля. Особенно хорошо зарекомендовали себя кусочно-линейные профили, поскольку они легко реализуются и позволяют добиться высокой эффективности согласования в широком диапазоне частот. Экспериментальные исследования подтверждают, что такие профили обеспечивают низкий уровень отражений и потерь, что делает их предпочтительным выбором для практических устройств [2]. Алгоритмы оптимизации позволяют автоматизировать процесс синтеза, существенно сокращая время и повышая точность проектирования. В области исследований наблюдается тенденция к развитию новых методов, учитывающих нелинейные и дисперсионные эффекты, а также к интеграции с системами автоматизированного проектирования, что повышает эффективность и расширяет возможности создания высокоэффективных, миниатюрных и надежных радиотехнических компонентов. Перспективы развития включают разработку универсальных методик, способных адаптироваться к различным типам линий передачи и диапазонам частот, а также учет новых физических эффектов и материалов, что способствует созданию более совершенных устройств. В итоге, современные методы синтеза плавных согласующих переходов позволяют значительно повысить качество передачи сигналов в высокочастотных системах, обеспечивая широкополосную работу, низкие уровни отражений и высокую технологическую реализуемость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов, О. В. Метод оптимального параметрического синтеза широкополосных согласующих переходов / О. В. Осипов, Д. Н. Панин, А. В. Никушин // Письма в Журнал технической физики. – 2013. – Т. 39, № 12. – С. 50-56.
2. Панин, Д. Н. Экспериментальные исследования плавных согласующих переходов на основе неоднородных участков микрополосковой линии передачи / Д. Н. Панин, О. В. Осипов, Л. В. Адамович // Инфокоммуникационные технологии. – 2020. – Т. 18, № 3. – С. 342-346. – DOI 10.18469/ikt.2020.18.3.13.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SMOOTH MATCHING TRANSITIONS IN HIGH-EFFICIENT ANTENNA-FEEDER SYSTEMS OF SPECIAL COMMUNICATIONS

Panin D.N., Moiseev A.D.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In the work, discusses the methodology for developing smooth matching transitions in high-efficient antenna-feeder systems of special communication.

УДК 537.876.46

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ОТРАЖЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ХИ-ЭЛЕМЕНТОВ

Осипов О. В., Симакова А. С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

На данный момент одной из областей науки, представляющих большой интерес, является разработка и исследование математических моделей киральных метаматериалов, представляющих собой вставки в диэлектрический контейнер проводящих микроэлементов зеркально-асимметричной формы. В данной работе рассматривается метаматериал с равномерной матрицей хаотически ориентированных элементов, представляющих собой совокупности прямолинейных и криволинейных диполей (хи-элементы).

Большой интерес к таким материалам обусловлен их частотными свойствами, зависящими от формы и размеров элементов. В частности, метаматериал на основе хи-частиц способен вблизи определенной частоты значительно уменьшать обратное отражение электромагнитной волны от покрытия. Данная частота зависит от угла раскрыва элемента, его радиусов, длин и т. д. (рис. 1).

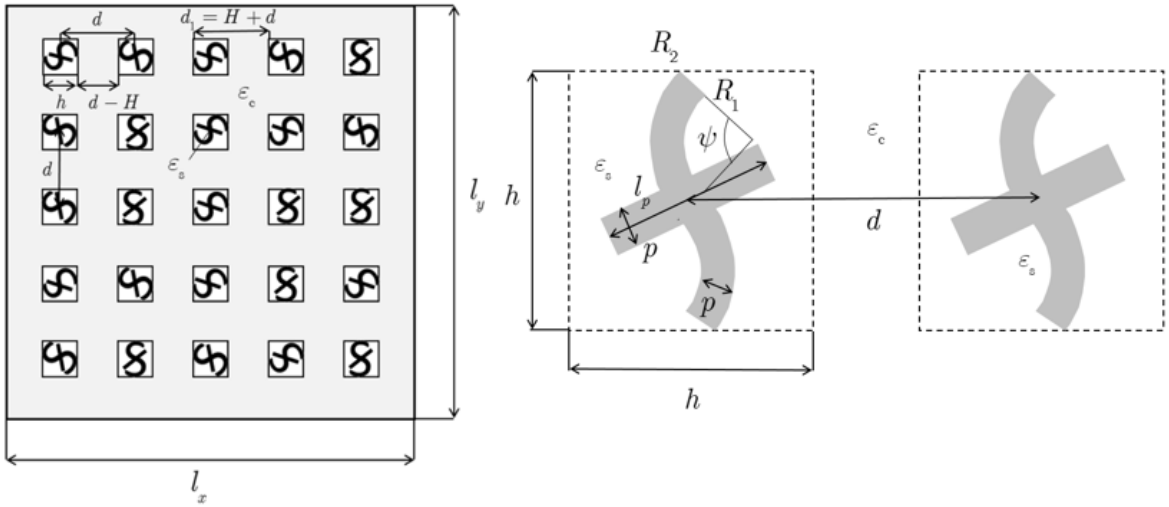


Рис. 1. Структура метаматериала на основе хи-частиц

В процессе построения математической модели кирального метаматериала были определены частотные зависимости эффективной диэлектрической проницаемости и параметра киральности [1, 2]. Одним из этапов было решение задачи об отражении электромагнитной волны от слоя метаматериала с использованием дифференциальных уравнений Максвелла и частотно зависимых материальных уравнений для киральной среды. Целью решения данной задачи было определение коэффициентов прохождения и отражения.

При построении данной математической модели внутри слоя метаматериала учитывались волны с право и левокруговыми поляризациями.

При анализе дисперсионных характеристик нормальных волн на частотах вблизи 2,45 ГГц наблюдался резонансный характер зависимостей эффективной диэлектрической проницаемости и параметра киральности. На графиках зависимостей модулей коэффициентов прохождения и отражения от частоты наблюдалось значительное ослабление вблизи той же частоты отраженной мощности сигнала (порядка –35 дБ), а прошедшая мощность претерпела незначительные изменения. На частотах, отличных от 2,45 ГГц, не наблюдалось значительных ослаблений уровня отраженной мощности при данных геометрических параметрах элемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhao R., Koschny T., Soukoulis C.M. Chiral metamaterials: retrieval of the effective parameters with and without substrate. Optics express. 2010. Т. 18. №. 14. С. 14553-14567.

2. Sihvola A.H. Temporal dispersion in chiral composite materials: A theoretical study. Journal of electromagnetic waves and applications. 1992. Т. 6. №. 7. С. 1177-1196.

ON THE POSSIBILITIES OF REDUCING THE LEVEL OF REFLECTED POWER USING A CHIRAL METAMATERIAL BASED ON CHI-ELEMENTS

Osipov O. V., Simakova A. S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the using chiral metamaterials created on the set of uniform matrices of conducting resonant chi-particles with linear dimensions approximately equal to microwave radiation wavelength for frequency-selective coatings creation. The main attention is paid to the requirements for mathematical models of chiral metamaterials based on chi-elements, in particular, to taking into account spatial dispersion, heterogeneity. The possibility of obtaining microwave resonances of reflection and transmission of electromagnetic waves through the coating is theoretically shown.

УДК 537.876.46

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАВНОМЕРНЫХ МАТРИЦ ИЗ S-ЭЛЕМЕНТОВ И ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ

Большаков Е. А., Бучнев И. Ю., Осипов О. В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Использование искусственных киральных сред (метаматериалов) позволяет создавать СВЧ устройства с расширенными функциональными возможностями. Это связано с ярко выраженными частотно и поляризационно селективными свойствами киральных метаматериалов. В работе рассматривается узкий класс метаматериалов, представляющий собой периодические матрицы из проводящих хаотически ориентированных микроэлементов в виде латинской буквы S. Матрица размещается в прямоугольном параллелепипеде из диэлектрика.

Структура представляет собой метаматериал, обладающий свойством киральности, так как элементы пространственно асимметричны. Также можно отметить, что при построении математической модели была учтена дисперсия диэлектрической проницаемости и киральности. Это позволило учесть два вида резонансов, которыми обладает Sэлемент – диэлектрический и киральный. При этом оба типа резонансов обладают одинаковой резонансной частотой, определяемой индуктивность и емкостью элемента. Также была учтена связь между соседними микроэлементами по электрическому и магнитному полям.

В рамках полученной математической модели были решены следующие задачи.

1. Расчет частотных зависимостей нормированных постоянных распространения возбуждаемых волноводных мод в плоском двухслойном волноводе с диэлектрическим и дисперсионным киральным слоями. Волновод ограничен идеально проводящими плоскостями сверху и снизу.

Для решения был применен метод, связанный с нахождением векторов электромагнитного поля в обеих слоях линии передачи. Электромагнитное поле в киральном слое находилось из уравнений Максвелла с учетом материальных уравнений для кирального метаматериала. В результате было получено дисперсионное уравнение для собственных волн указанного волновода. При анализе были выявлены бифуркационный характер дисперсионных кривых, а также точки на них, в которых волн с противоположными эллиптическими поляризациями обладают одинаковыми фазовыми скоростями.

2. Расчет частотных зависимостей модулей коэффициентов прохождения и отражения основной и кросс-поляризованной волн в полом прямоугольном волноводе, в котором ортогонально вектору Умова-Пойнтинга волноводных мод была размещена поперечная планарная диафрагма из кирального метаматериала на основе двумерной матрицы, в узлах которой были расположены хаотически ориентированные S-частицы.

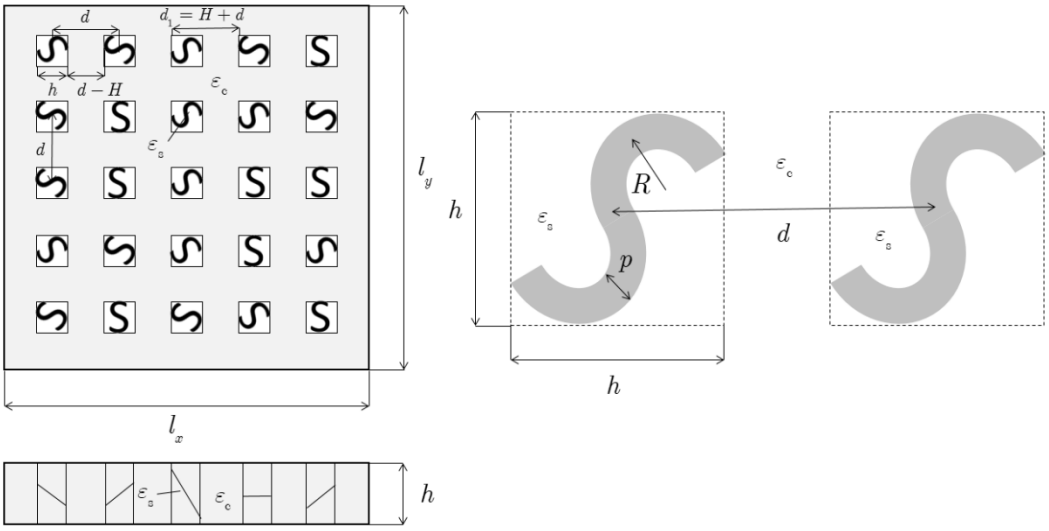


Рис. 1. Структура метаматериала на основе S-частиц

Для решения двумерной задачи дифракции волноводной моды в линии передачи были использованы приближенные граничные условия для планарного слоя кирального метаматериала [3]. В рамках задачи были получены во втором приближении по толщине кирального слоя аналитические выражения для коэффициентов отражения и прохождения волноводных мод. В выражениях присутствуют как характеристики S-элемента, так и пространственные размеры прямоугольного волновода, а также дисперсионные зависимости диэлектрической проницаемости и параметра киральности. Для поиска корней дисперсионного уравнения использовался метод хорд.

При анализе был выявлен различный характер поведения коэффициентов отражения и прохождения при различных значениях резонансной частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sihvola A.H. Temporal dispersion in chiral composite materials: A theoretical study. Journal of electromagnetic waves and applications. 1992. Т. 6. №. 7. С. 1177-1196.

APPROACHES TO CONSTRUCTING MATHEMATICAL MODELS OF CHIRAL METAMATERIALS BASED ON UNIFORM MATRICES OF S-PARTICLES AND CHIRAL WAVEGUIDE STRUCTURES

Bolshakov E. A., Buchnev I. Yu., Osipov O. V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In the work mathematical model of a metamaterial was created, which is a periodic matrix of conducting chaotically oriented S-particles. The investigation flat two-layer chiral-dielectric waveguide eigenwaves was carried out in the work. Also the work studied the reflection and transmission of the main wave of a rectangular waveguide through a rectangular transverse diaphragm based on a chiral metamaterial of S-elements.

УДК 537.876.46

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ С РЕЗОНАНСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧАСТОТНО СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

Осипов О. В., Энбом Е. А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В настоящее время интерес представляет разработка математических моделей киральных метаматериалов, которые должны учитывать различные физические явления, связанные с композиционной структурой метаматериала. В данной работе рассматриваются основные аспекты построения математической модели кирального метаматериала на примере структуры, представляющей собой равномерную матрицу из двумерных snake-частиц (форма полоска в виде змейки). Покрытие формируется следующим образом: выбирается планарный слой из диэлектрика, который заполняется кубами, в некоторых из которых размещаются snake-частицы. Их размещение должно быть таким, чтобы они в совокупности образовывали равномерную матрицу, при этом ориентация частицы внутри куба – хаотическая, чтобы метаматериал был в целом биизотропным и не образовывалось некоторого выделенного направления. Структура метаматериала и snake-частицы приведены на рис. 1. Расстояние между соседними резонансными частицами *d* должно быть значительно больше линейных размеров кубов a и длины волны λ.

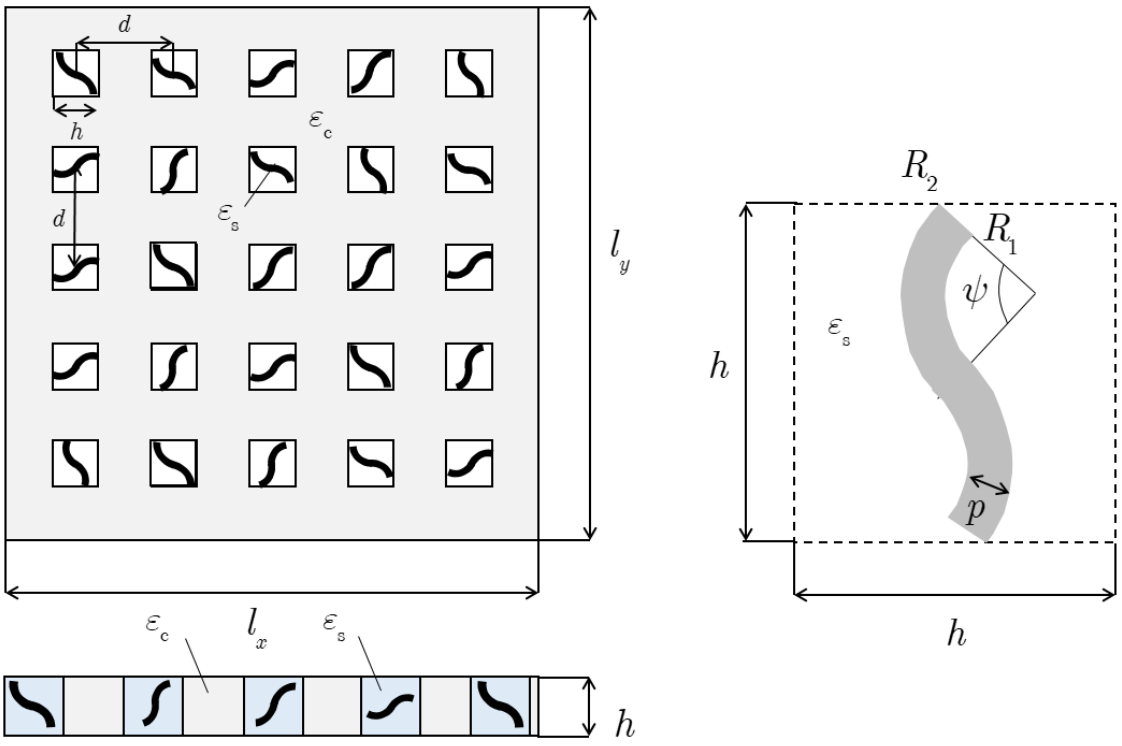


Рис. 1. Структура метаматериала на основе snake-частиц

При построении математической модели указанного метаматериала были учтены дисперсионные соотношения для диэлектрической проницаемости и параметра киральности [1]. Также учтено, что метаматериал является гетерогенной средой, то есть эффективная диэлектрическая проницаемость зависит от проницаемостей слоя и кубов, в которых размещаются частицы. Заметим, что диэлектрическая проницаемость куба не равна проницаемости слоя, так как в кубе размещается проводящий микроэлемент. В работе получены выражения для дисперсионных характеристик волн с право и левокруговыми поляризациями в слое из метаматериала, а также частотные зависимости модулей коэффициентов отражения и прохождения.

Показано, что вблизи частоты 1,13 ГГц (определяется геометрическими размерами микроэлемента) наблюдается резонансное взаимодействие между полем волны и киральным метаматериалом. При этом резонансная матрица на этой частоте позволяет получить ослабление уровня отраженной мощности – 25 дБ и одновременное ослабление прошедшей мощности – 13 дБ. Таким образом, вблизи резонансной частоты наблюдается эффект перенаправления вектора Умова-Пойнтинга падающей волны и большая часть мощности переизлучается матрицей из резонансных snake-элементов в плоскости слоя, тем самым резонансно уменьшая уровни прошедшей в прямом направлении и отраженной в обратном направлении мощностей. При этом на других частотах слой не проявляет каких-либо резонансных свойств отражения и прохождения. В результате можно сделать вывод, что подобное покрытие выполняет роль частотно селективной структуры, в значительной степени снижающей уровень обратного отражения вблизи резонансной частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prudêncio F. R., Silveirinha M. G. Optical isolation of circularly polarized light with a spontaneous magnetoelectric effect // Phys. Rev. A., 2016. – V. 93. – P. 043846. DOI:10.1103/PhysRevA.93.043846.

CHIRAL METAMATERIALS WITH RESONANT PARTICLES USING FOR FREQUENCY-SELECTIVE COATINGS CREATION

Osipov O. V., Enbom E. A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the using chiral metamaterials created on the set of uniform matrices of conducting resonant particles with linear dimensions approximately equal to microwave radiation wavelength for frequency-selective coatings creation. The main attention is paid to the requirements for mathematical models of chiral metamaterials, in particular, to taking into account spatial dispersion, heterogeneity. The possibility of obtaining microwave resonances of reflection and transmission of electromagnetic waves through the coating is theoretically shown.

УДК 537.876.46

РАСЧЕТ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНОГО КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ХАОТИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ К-ЭЛЕМЕНТОВ

Дементьев Л. А., Осипов О. В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Интерес к исследованию метаматериалов СВЧ диапазона связан с возможностью создания на их основе частотно и поляризационно селективных устройств [1]. Также они представляют интерес при разработке узкополосных малоотражающих покрытий. Подобные структуры позволяют преобразовывать на определенных частотах нормально падающее СВЧ-излучение в переизлучение вдоль слоя метаматериала.

В данной работе рассматривается метаматериал, созданный на основе равномерной совокупности хаотически ориентированных элементов в форме криволинейной буквы К. Структура и конфигурация элемента показана на рис. 1. Структура обладает киральными свойствами, так как все частицы являются тождественными, зеркально асимметричными и при этом имеют хаотическую ориентацию.

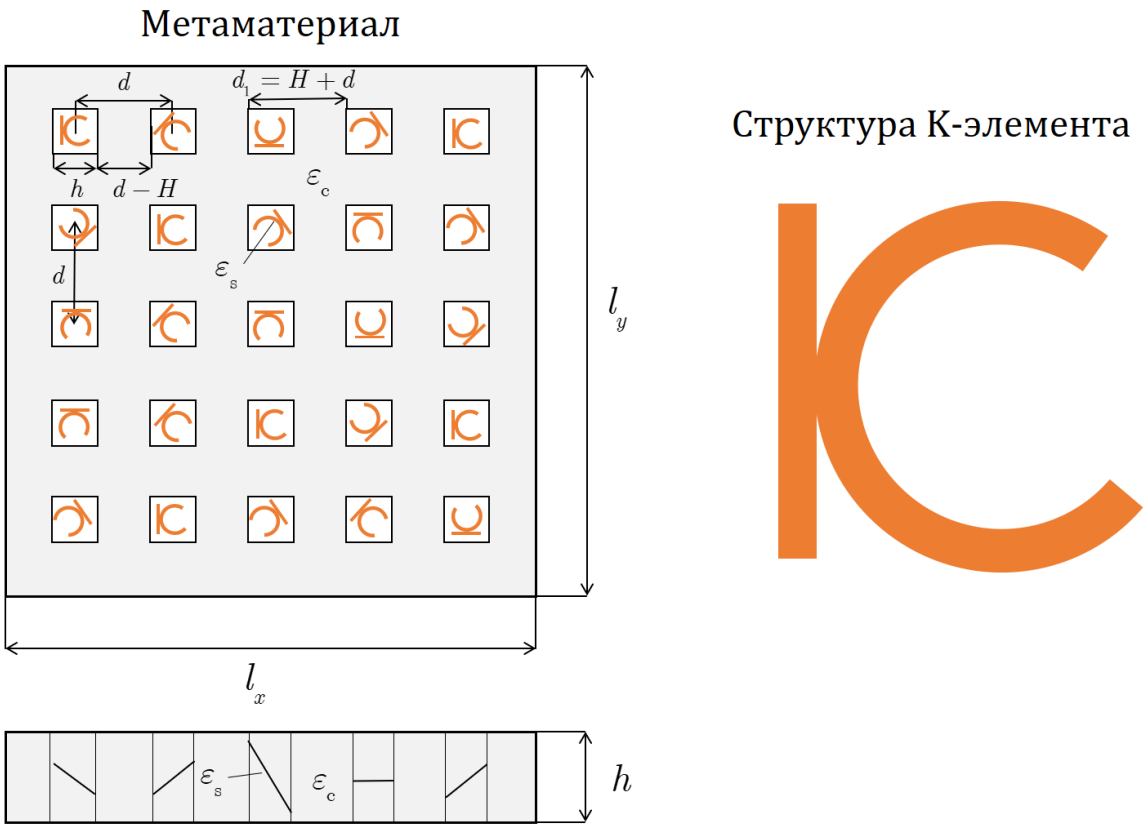


Рис. 1. Структура метаматериала на основе К-частиц

Зеркально асимметричный К-элемент обладает следующими геометрическими характеристиками: h — высота элемента (ребро куба, в который вложен К-элемент); d — расстояние между центрами двух соседних К-элементов; R_{c1} — внутренний радиус С-элемента; R_{c2} — внешний радиус С-элемента; p_c — ширина проводящей С-полоски; d_c — толщина С-полоски; ψ_c — угол раскрыва С-элемента; p_L — ширина проводящей L-полоски; d_L — толщина L-полоски; l_p — длина L-полоски.

При построении математической модели указанного метаматериала были учтены дисперсионные соотношения для диэлектрической проницаемости и параметра киральности [2]. В работе были получены аналитические зависимости постоянных распространения волн с право и левокруговыми поляризациями в слое подобного метаматериала:

$$k_{R,L} = \frac{\omega}{c}\left[\sqrt{\varepsilon(\omega)\mu(\omega)} \pm \chi(\omega)\right], \qquad (1)$$

где ω – круговая частота; c – скорость света; $\varepsilon(\omega)$ – частотно зависимая диэлектрическая проницаемость метаматериала; $\mu(\omega)$ – частотно зависимая магнитная проницаемость метаматериала; $\chi(\omega)$ – частотно зависимый параметр киральности метаматериала. Верхний и нижний знаки относятся к волнам с право и левокруговыми поляризациями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Engheta N., Ziolkowski R. W. Metamaterials: Physics and Engineering Explorations // Hoboken, John Wiley & Sons, 2006.

2. Prudêncio F. R., Silveirinha M. G. Optical isolation of circularly polarized light with a spontaneous magnetoelectric effect // Phys. Rev. A., 2016. – V. 93. – P. 043846. DOI:10.1103/PhysRevA.93.043846.

CALCULATION OF DISPERSION CHARACTERISTICS OF A PLANAR CHIRAL METAMATERIAL BASED ON A PERIODIC MATRIX OF CHAOTIC ORIENTED K-ELEMENTS

Dementyev L. A., Osipov O. V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the using chiral metamaterials created on the set of uniform matrices of conducting resonant K-particles with linear dimensions approximately equal to microwave radiation wavelength for frequency-selective coatings creation. The main attention is paid to the requirements for mathematical models of chiral metamaterials, in particular, to taking into account spatial dispersion, heterogeneity. In the work analytical dependences of the propagation constants of waves with right and left circular polarizations in a layer of metamaterial were obtained.

УДК 621.396.674

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ С РЕЖЕКТОРНОЙ ПОЛОСОЙ

Симагов Н.А., Морозов С.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Сверхширокополосные (СШП) системы связи являются перспективной технологией для высокоскоростной передачи данных на короткие расстояния. Однако широкий спектр СШП-сигнала пересекается с частотами существующих узкополосных систем, таких как Wi-Fi и WiMAX (например, в диапазонах 5,2/5,8 ГГц), что создает проблему взаимных помех. Для решения этой проблемы разрабатываются СШП-антенны с режекторными характеристиками. Современным требованием является возможность не просто вырезать узкую полосу, а полностью переключать антенну между СШП-режимом (3,1–10,6 ГГц) и режимом работы в перспективных сетях 5G.

Целью настоящей работы является постановка задачи проектирования и численного анализа компактной печатной монопольной СШП-антенны с перестраиваемой по частоте широкой полосой задерживания. В качестве прототипа для исследования выбрана структура, предложенная в работе [1], геометрия которой показана на рис. 1.

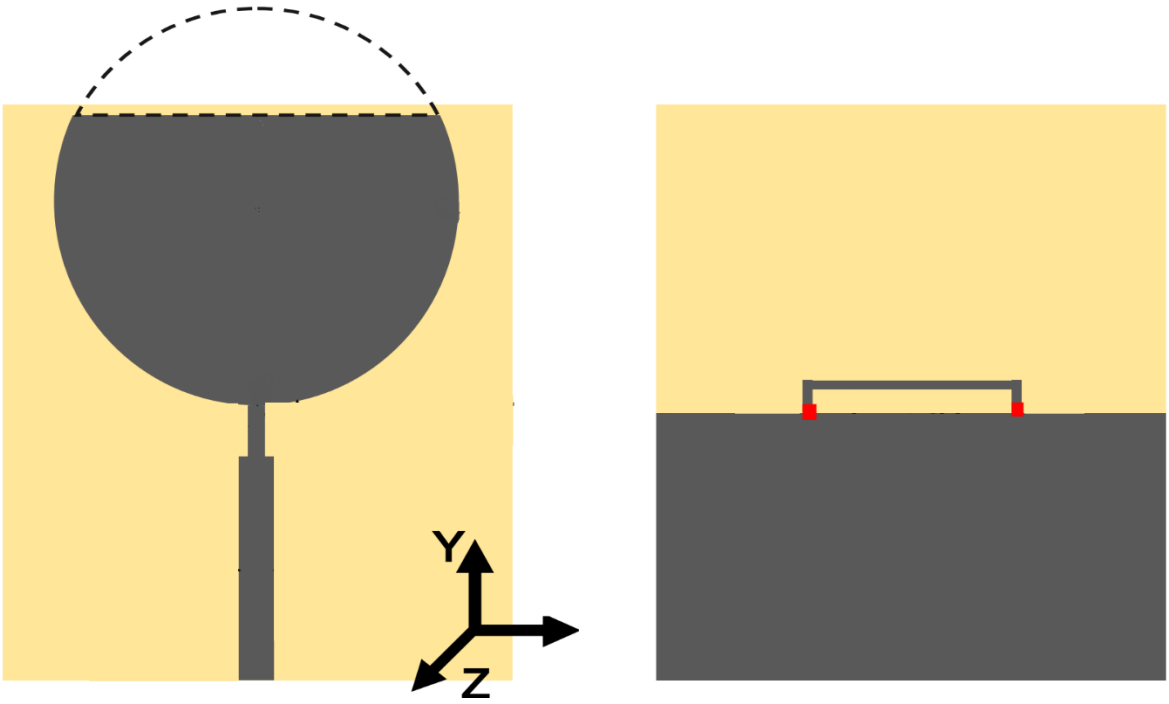


Рис. 1. Геометрия исследуемой перестраиваемой СШП-антенны (по мотивам [1]): слева - вид спереди, справа - вид сзади.

Антенна состоит из эллиптического излучателя и частичной земляной плоскости. Для формирования режекторной полосы вблизи земляной плоскости

располагается паразитный элемент в виде тонкой проводящей линии. Данный элемент ведет себя как полуволновый резонатор, создавая широкую полосу подавления в верхней части СШП-диапазона. Переключение между режимами UWB и sub-6 GHz осуществляется с помощью двух PIN-диодов, включающих или отключающих паразитный резонатор.

Для анализа и оптимизации предложенной конструкции будет использован метод численного моделирования в САПР Altair FEKO. На первом этапе будет создана электродинамическая модель антенны, результаты расчета КСВН и диаграмм направленности для которой будут верифицированы путем сравнения с данными, представленными в [1]. На последующих этапах будет проведен параметрический анализ для исследования влияния ключевых геометрических размеров на характеристики антенны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jawale R., Reddy G. S. Compact Frequency Reconfigurable UWB Monopole Antenna Loaded with Parasitic Line for Wide Stopband // 2022 3rd URSI Atlantic and Asia-Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC). Gran Canaria, Spain, 2022. Pp. 1-4.

DESIGN OF A RECONFIGURABLE ULTRA-WIDE-BANDS ANTENNA WITH A REJECTOR BAND

Simagov N.A., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper states the problem of developing a methodology for reducing the radar cross-section (RCS) of typical aircraft elements using radar-absorbing materials (RAM). Lowering RCS is a critical aspect of modern stealth technology. The proposed methodology is based on numerical simulation in Altair FEKO and focuses on analyzing the effectiveness of RAM coatings when applied to canonical shapes, such as flat plates and dihedral corner reflectors, which represent major scattering centers on an aircraft. A parametric study will be conducted to investigate the influence of coating thickness and material properties (complex permittivity and permeability) on RCS reduction. The results will provide a framework for optimizing RAM applications in low-observable platform design.

УДК 621.396.677

ЗАДАЧА СИНТЕЗА ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Рогожникова А.В., Морозов С.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Волноводно-щелевые антенные решетки (ВЩАР) находят широкое применение в радиолокации, системах связи и навигации благодаря своим высоким электрическим характеристикам, конструктивной простоте и надежности. Современные требования к таким системам предполагают работу в широкой полосе частот при одновременном обеспечении низкого уровня боковых лепестков (УБЛ) диаграммы направленности (ДН) для повышения помехозащищенности и скрытности.

Целью настоящей работы является постановка задачи синтеза и оптимизации 8-элементной ВЩАР X-диапазона (Рис. 1), обладающей расширенной полосой рабочих частот и уровнем боковых лепестков не выше -25 дБ.

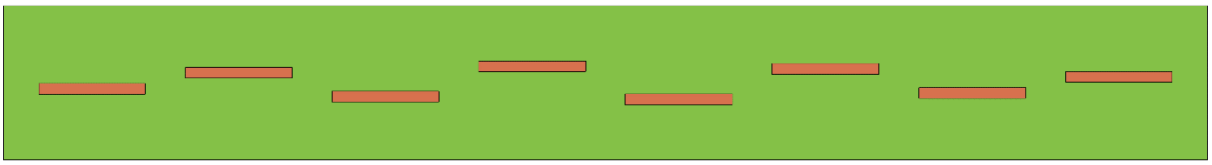


Рис. 1. Эскиз 8-элементной волноводно-щелевой антенной решетки (вид сверху). Показано смещение продольных щелей относительно центральной оси для формирования заданного амплитудного распределения.

Решение задачи синтеза ВЩАР является комплексной электродинамической задачей, включающей в себя два основных этапа. На первом этапе необходимо определить амплитудно-фазовое распределение (АФР) по элементам решетки, обеспечивающее заданный УБЛ. Для синфазной линейной решетки из N элементов диаграмма направленности может быть представлена как произведение диаграммы направленности одиночного элемента на множитель решетки $AF(\theta)$, который описывается выражением:

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^{N} A_n e^{jk(n-1)d\cos\theta}$$

где A_n – амплитуда возбуждения n-го излучателя, d – расстояние между элементами, k – волновое число. Задача синтеза сводится к нахождению такого набора коэффициентов $\{A_1, A_2, ..., A_8\}$, который обеспечивает УБЛ не выше -25 дБ. Для этого планируется использовать классические методы синтеза, например, на основе распределения Дольфа-Чебышева, которое позволяет получить оптимальные коэффициенты A_nдля достижения поставленной цели.

На втором этапе необходимо реализовать полученное АФР в реальной конструкции ВЩАР. Амплитудное распределение достигается за счет смещения продольных щелей относительно осевой линии широкой стенки волновода, а фазовое - за счет расстояния между щелями [1, 2]. Для точного расчета геометрии щелей (длины и смещения) и их взаимного влияния будет использовано численное моделирование в САПР Altair FEKO. Процедура оптимизации будет направлена на одновременное согласование антенны в широкой полосе частот и достижение требуемого УБЛ.

Научная новизна работы будет заключаться в применении комплексного подхода, сочетающего аналитический синтез АФР с полноволновой численной оптимизацией геометрии ВЩАР для достижения компромисса между полосой согласования и уровнем бокового излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов С.В., Катанова Л.С., Кривопалов З.В. Проектирование волноводной щелевой антенны X-диапазона для радиолокационных применений с низким уровнем боковых лепестков // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи. Материалы XXXII Российской научно-технической конференции. Самара, 2025. С. 191-192.

2. Катанова Л.С., Кривопалов З.В., Морозов С.В. Исследование влияния угла поворота щелей на результаты электродинамического анализа волноводно-щелевой антенны // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024. Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 125-126.

THE TASK OF SYNTHESIZING A WAVEGUIDE-SLOT ANTENNA ARRAY WITH IMPROVED CHARACTERISTICS

Rogozhnikova A.V., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper describes the problem of synthesizing an 8-element waveguide slot antenna array with an extended bandwidth and a low sidelobe level. The relevance is driven by the strict requirements for modern radar and communication systems. The proposed approach combines an analytical synthesis of the array factor using the Dolph-Chebyshev distribution with a full-wave numerical optimization of the slot geometry in Altair FEKO. The goal is to achieve a sidelobe level below -25 dB while maintaining good impedance matching over a wide frequency band.

УДК 621.372.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЧ-ТРАКТА

Люкшина Д.Е., Морозов С.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При проектировании и измерении параметров устройств СВЧ-диапазона одной из нетривиальных задач является учет влияния соединительных элементов: коаксиальных разъемов, переходов и кабельных сборок. На частотах свыше нескольких гигагерц эти компоненты перестают быть идеальными и вносят заметные рассогласования и потери, искажая характеристики исследуемого устройства. Анализ таких структур является сложной задачей дифракции электромагнитных волн, для решения которой применяются различные строгие методы [1]. Точное моделирование этих элементов необходимо для корректной разработки и верификации СВЧ-устройств.

Целью данной работы является постановка задачи исследования влияния типовых коаксиальных соединителей и переходов на электродинамические характеристики линии передачи в СВЧ-диапазоне.

Для решения задачи используется метод полноволнового электродинамического моделирования в программном комплексе Altair FEKO, позволяющий создавать высокоточные 3D-модели сложных структур. На основе технической документации на серийный соединитель ПКМ2-20 была разработана детальная 3D-модель перехода с коаксиального разъема на микрополосковую линию, показанная в разрезе на рис. 1. Особое внимание при построении модели было уделено точному воспроизведению геометрии внутреннего и внешнего проводников, диэлектриков, а также критически важной для согласования компенсационной проточки в печатной плате.

Основными исследуемыми характеристиками будут S-параметры тракта: коэффициент отражения (S11), характеризующий степень согласования, и коэффициент передачи (S21), отражающий вносимые потери. Будет проведен анализ зависимости этих параметров от частоты в широком диапазоне (например, до 20 ГГц). Также планируется исследовать влияние неточностей монтажа и производственных допусков на характеристики перехода.

Результаты работы позволят получить количественные данные о влиянии соединителей на СВЧ-тракт и могут быть использованы для создания эквивалентных моделей разъемов и переходов, пригодных для использования в системах автоматизированного проектирования на схемотехническом уровне.

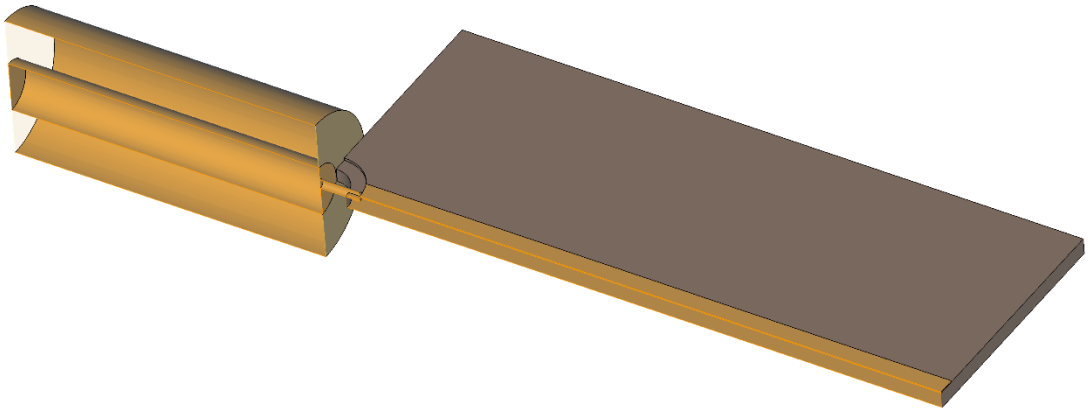


Рис. 1. 3D-модель перехода с коаксиального разъема на микрополосковую линию: 1 – корпус разъема; 2 – диэлектрик (тефлон); 3 – центральный пин; 4 – печатная плата; 5 – микрополосковый проводник.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Морозов С.В. Решение задач излучения и дифракции электромагнитных волн на основе интегральных представлений электромагнитного поля // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. Т. 23. № 4. С. 19-35.

MODELING THE EFFECT OF COAXIAL CONNECTORS ON THE CHARACTERISTICS OF A MICROWAVE PATH

Lyukshina D.E., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper formulates the problem of investigating the influence of coaxial connectors and transitions on the performance of microwave transmission lines. The non-ideal behavior of these components can significantly degrade system performance at high frequencies. The proposed methodology involves creating high-fidelity 3D models of typical connectors (e.g., SMA-type) and transitions (e.g., coax-to-microstrip) in Altair FEKO. The study will focus on analyzing the S-parameters (S11 and S21) over a wide frequency range to quantify reflection and insertion loss. The results will be useful for accurate modeling and design of microwave circuits.

УДК 621.396.67

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДЛОЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИАТЮРИЗИРОВАННОЙ АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ

Кибяков Д.С., Морозов С.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Антенны Вивальди, относящиеся к классу антенн бегущей волны с экспоненциальным профилем щели, являются одним из наиболее популярных решений для сверхширокополосных (СШП) систем. Однако их продольные размеры, определяемые нижней границей рабочего диапазона частот, могут быть значительными. Задача миниатюризации таких антенн является актуальной. Существует два основных подхода к ее решению: материальный, основанный на использовании подложек с высокой диэлектрической (ε) и/или магнитной (μ) проницаемостью, и структурный, предполагающий изменение геометрии самой подложки.

Целью работы является постановка задачи систематического исследования влияния диэлектрических и магнитных свойств подложки на электродинамические характеристики миниатюризированной антенны Вивальди. В частности, будет проанализировано влияние параметров материалов подложки, а также эффективность применения структурной миниатюризации путем создания на поверхности диэлектрика периодических гофров, как показано на рис. 1.

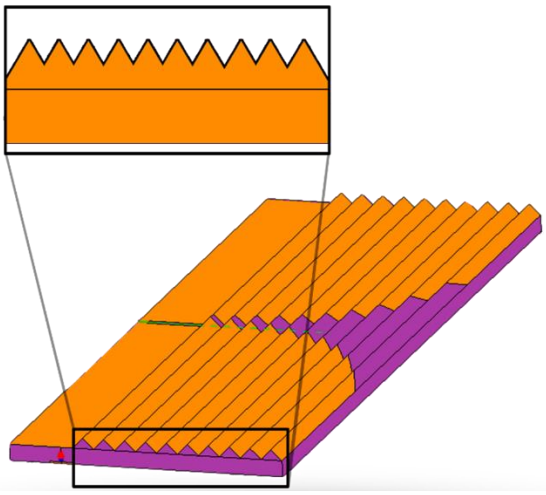


Рис. 1. Модель миниатюризированной антенны Вивальди с применением гофрированной диэлектрической подложки. Вверху — профиль гофра в поперечном сечении; внизу — изометрический вид антенны.

Для решения поставленной задачи будет использован метод численного моделирования в САПР Altair FEKO. Будет создана параметрическая модель антенны, позволяющая варьировать как диэлектрическую и магнитную

проницаемости подложки, так и геометрические параметры гофрированной поверхности (период, глубину и форму зубцов).

В ходе численных экспериментов будет исследовано влияние ε и μ на следующие характеристики антенны:

– Коэффициент отражения (S11) и рабочий диапазон частот;
– Коэффициент усиления и эффективность;
– Характеристики диаграммы направленности (ширина главного лепестка, уровень заднего излучения).

Особое внимание будет уделено анализу эффекта замедления волны в подложке и его связи со степенью миниатюризации антенны. Ожидается, что повышение проницаемостей позволит уменьшить габариты антенны при сохранении нижней рабочей частоты, однако это может сопровождаться сужением полосы согласования и снижением эффективности из-за роста потерь [1, 2].

Результаты работы позволят сформулировать рекомендации по выбору материалов подложек для проектирования миниатюризированных антенн Вивальди с заданными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов С.В., Сурков И.С. Миниатюризация антенны Вивальди с применением гофрированной поверхности треугольной формы //Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи. Материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара, 2024. С. 158-160.

2. Морозов С.В., Жабин Е.А., Баринов К.С. Применение метода трехмерной миниатюризации к антенне Вивальди // VI научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2023. материалы XX Международной научно-технической конференции. Казань, 2023. С. 140-141.

EFFECT OF SUBSTRATE PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF A MINIATURIZED VIVALDI ANTENNA

Kibyakov D.S., Morozov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper introduces the problem of investigating the influence of substrate properties on the performance of a miniaturized Vivaldi antenna. Vivaldi antennas are widely used in UWB systems, but their size can be a limitation. Using high-permittivity (ε) and high-permeability (μ) substrates is a known miniaturization technique. This work aims to systematically study the trade-offs by using parametric full-wave simulation in Altair FEKO. The analysis will focus on the impact of ε and μ on input impedance matching, bandwidth, gain, and radiation patterns. The results will provide design guidelines for selecting substrate materials for compact Vivaldi antennas.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА В ДИАГРАММООБРАЗОВАНИИ ЧАСТОТНО-РАЗНЕСЕННЫХ АНТЕНН

Андреев В.Д., Морозов О.Г., Денисенко П.Е.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Благодаря своим неотъемлемым преимуществам, таким как высокий коэффициент усиления, гибкие возможности сканирования и надёжная защита от помех, технология фазированных антенных решёток (ФАР) нашла широкое применение в различных областях, включая военную сферу, авиацию, метеорологию и спутниковую связь [1]. Однако с помощью ФАР сложно эффективно подавлять побочные сигналы, связанные с расстоянием, и точно различать несколько целей, которые выровнены в одном направлении, но находятся на разных расстояниях. Поэтому для решения этих проблем недавно была представлена новаторская система радиолокационных решёток, известная как частотно-разнесенная антенная решётка (ЧРАР).

В настоящее время в ЧРАР существует два подхода к оптимизации для решения проблемы разделения диаграмм направленности, включая оптимизацию смещения частоты и оптимизацию антенной решётки. Большинство исследований развивается с опорой на традиционные методы генерации сигналов ЧРАР, которые в основном включают методы, основанные на независимых источниках гетеродина или каскадных смесителях. Исследования новых методов генерации сигналов ЧРАР остаются довольно ограниченными. В другом контексте, генерация сигналов радаров ЧРАР традиционными методами часто затруднена присущими электронной области ограничениями, включая ограниченную полосу пропускания, частотно-зависимые потери, паразитные искажения и электромагнитные помехи. Эти проблемы мешают современным технологиям удовлетворять растущие требования к современным радиолокационным системам высокого разрешения.

Радиофотоника (РФ), как развивающаяся междисциплинарная технология, объединяет уникальные преимущества микроволновых и фотонных технологий, предлагая новый подход к генерации, передаче и обработке микроволновых сигналов. По сравнению с частотным диапазоном микроволновых сигналов несущая частота оптического диапазона частот значительно выше на 3-5 порядков, что указывает не только на существенно более широкую доступную полосу пропускания РФ технологий, но и на расширенный рабочий частотный спектр. Однако некоторые методы и устройства РФ ЧРАР, как правило, сложны. Для достижения многоканальной генерации сигнала ЧРАР требуется много фотоэлектрических устройств, пропорциональных количеству каналов, что делает расширение каналов дорогостоящим. В развитие была предложена схема генерации многоканальных сигналов с использованием оптических частотных гребёнок (ОЧГ), которая может эффективно снизить затраты. Тем не менее, достижение частотных сдвигов по-прежнему требует микроволновых

электрических гибридных ответвителей и сложных электрооптических модуляторов комбинированного или каскадированного типа. Эти компоненты не только усложняют рабочий процесс и увеличивают нестабильность, но и приводят к большим потерям. Хотя сигналы с двумя несущими, которые обычно используются для создания таких диаграмм направленности, могут быть получены путём подачи двух симметричных сигналов в одну и ту же антенну, количество каналов сокращается почти вдвое, что, в свою очередь, серьёзно ухудшает разрешение генерируемых диаграмм направленности. Таким образом, эти ограничения указывают на острую потребность в упрощённых архитектурах, способных генерировать точечные диаграммы направленности.

В данной работе мы представляем метод генерации фотонного двухканального сигнала ЧРАР с использованием двух ОЧГ, построенных на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции (ТАФМ) и умножения частоты с генерацией двухчастотных компонент с различным сдвигом между ними [2]. В частности, в первом канале один однопортовый модулятор с умножением частоты и ТАФМ, также построенный на однопортовых модуляторах амплитуды и фазы, генерирует ОЧГ с подавленной несущей и двухполосной модуляцией (CS-DSB) большого разноса до 5 ГГц. Второй канал строится на основе однопортового модулятор с умножением частоты и одновременным подавлением несущей и формирования малого изменяющегося разноса двух частот с базой в 1 МГц, соответствующего местоположению подавленных несущих первого канала. При этом для второго канала не требуются гибридных ответвителей, а используются микроволновые генераторы для контроля интермодуляционных искажений. Диаграмма направленности имеет форму концентрированной точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mo B. [и др.] Photonic-Assisted Frequency Diverse Array // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2024. Vol. 72, no. 10. P. 6020-6032.

2. А.М. Ал-Муфти, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Широкополосные и сверхузкополосные пакеты дискретных частот для решения задач спектральной настройки восходящих каналов волоконно-оптических транспортных доменов сетей доступа мобильной связи 5G+ // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2025. Т. 5. № 1. С. 64-89.

MICROWAVE PHOTONICS TECHNOLOGIES AND THEIR ADVANTAGES IN THE RADIATION PATTERN FORMATION OF FREQUENCY-SEPARATED ANTENNAS

Andreev V.D., Morozov O.G., Denisenko P.E.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article proposes a novel microwave photonics method for generating signals for frequency diverse arrays using two optical frequency combs.

УДК 621.383

ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РАЗНЕСЕННЫХ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО ФОРМИРОВАТЕЛЯ

Андреев В.Д., Морозов О.Г., Денисенко П.Е.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В [1] отмечено, что в большинстве известных формирователей сигналов диаграммообразования для частотно-разнесенных антенных решёток (ЧРАР) используются электрооптические модуляторы высокого уровня структурной сложности с преобразованием радиосигналов управления в несимметричное однополосное или симметричное двухполосное с подавленной несущей. Последний режим не обеспечивает полного подавления несущей частоты лазера на выходе блока модуляторов, что приводит к погрешности диаграммообразования за счёт появления биений между управляющими частотами и неинформативными гармониками несущей.

Поэтому следует рассмотреть возможность применения в указанных формирователях метода тандемной амплитудно-фазовой модуляции (ТАФМ) Ильина-Морозова [2], разработанного в КНИТУ-КАИ. Показано, что при корректной настройке схемы, величина подавления несущей может составлять 60 дБ, в то время, как в обычном АММЦ – не более 20 дБ. Структурная схема устройства, реализующая ТАФМ представлена на рис. 1.

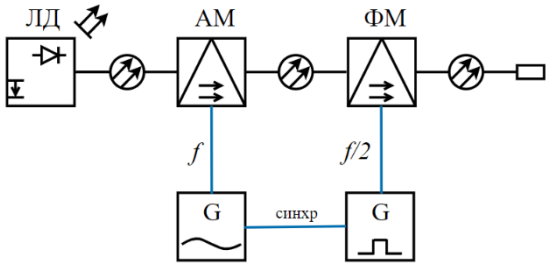


Рис. 1. Формирователь ТАФМ

На рис. 2 представлен процесс формирования двухчастотного излучения по методу Ильина-Морозова.

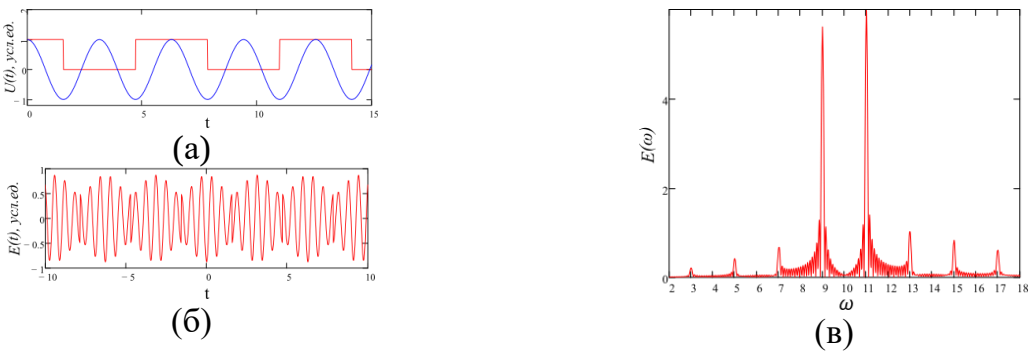


Рис. 2. Формирование ТАФМ излучения

В частности показаны: управляющие напряжения амплитудного $U_{AM}(t)$ – синяя кривая – и фазового $U_{PM}(t)$ – красная кривая – модуляторов (рис. 2,а); временная диаграмма напряжённости электрического поля оптического излучения на выходе формирователя ТАФМ $E_{TAPM}(t)$ (рис. 2,б); спектр ТАФМ излучения $E_{TAPM}(\omega)$ (рис. 2,в).

Анализ спектра (рис. 2, в) показывает, что несущая полностью подавлена, а гармоники разнесены по частоте с шагом Ω. Полученное таким способом излучение является наиболее компактным. Для того чтобы снизить биения от гармоник высокого порядка необходимо подавить составляющие на частотах (ω ± 3Ω/2, на рис. это частоты при ω равном 7 и 13 усл. ед.), как наибольшие по амплитуде. Минимальное значение амплитуды гармоники ω ± 3Ω/2 соответствует значению коэффициента амплитудной модуляции M ~ 0,62, построим спектр излучения для этого значения глубины модуляции (рис. 3).

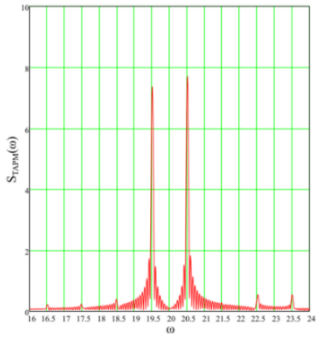


Рис. 3. Спектр излучения ТАФМ для M = 0,62

Такой подход позволяет использовать преимущества ТАФМ излучений для минимизации погрешностей диаграммообразования в ЧРАР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mo B. [и др.] Photonic-Assisted Frequency Diverse Array // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2024. Vol. 72, no. 10. P. 6020-6032.

2. А.А. Талипов, О.Г. Морозов, Г.И. Ильин [и др.] Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально-эффективной модуляции RZ и CSRZ форматов в оптических сетях доступа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 3-12.

RADIATION PATTERN OF FREQUENCY-SEPARATED ANTENNAS USING AN AMPLITUDE-PHASE SHAPER

Andreev V.D., Morozov O.G., Denisenko P.E.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article investigates the application of the tandem amplitude-phase modulation method to enhance signal generation for frequency diverse arrays.

СИНТЕЗ КВАЗИ-НЕОТРАЖАЮЩЕГО ФИЛЬТРА S-ДИАПАЗОНА

[1]Коперский В.В., [1]Насыбуллин А.Р., [2]Кириллов Г.А.
([1] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, [2]АО «ИЭМЗ «Купол»)

Полосно-пропускающие фильтры выполняют важную функцию в приемо-передающих трактов. Они обеспечивают селекцию нужной полосы частот для выделения сигнала, подавляя помехи для дальнейшей обработки либо передачи сигнала. Неотражающие фильтры представляют собой отдельный вид частотно-селективных устройств [1]. Их особенностью является низкие значения коэффициентов отражения по входу и выходу в широком диапазоне частот, включая диапазоны за пределами рабочей полосы сигнала. Данная важная особенность позволяет улучшить стабильность работы ВЧ систем, так как нежелательные спектральные составляющие рассеиваются такими фильтрами в тепло, а не отражаются в тракт [1]. Архитектура поглощающего фильтра состоит из полосового фильтра и установленных по входу и выходу режекторных фильтров с рассеивающими резисторами. Для высокого значения избирательности необходима максимальное значение добротности ППФ, а для уменьшения коэффициентов отражения по мощности необходимо минимизировать добротности режекторных фильтров [2].

Важным параметром фильтров, работающих в УКВ-диапазоне, является характеристика отражения мощности по входу и выходу устройства. При высоких значениях коэффициента отражения в рабочем диапазоне частот сигнала, ухудшается его качество. Также отраженная мощность может негативно влиять на соседние с фильтром каскады, особенно на активные нелинейные устройства, например на такие как усилители мощности, смесители и преобразователи частоты.

Теоретическая концепция была подтверждена в исследовании группы авторов Симпсон Диджей, Гомес-Гарсия Р., Психогиу Д. [2]. С целью уменьшения габаритов квази-неотражающего фильтра и увеличения полосы заграждения топологию модифицировали для использования в конструкции микрополосковых фильтров на подвешенной подложке [3]. На рис. 1 представлен макет предлагаемой конструкции.

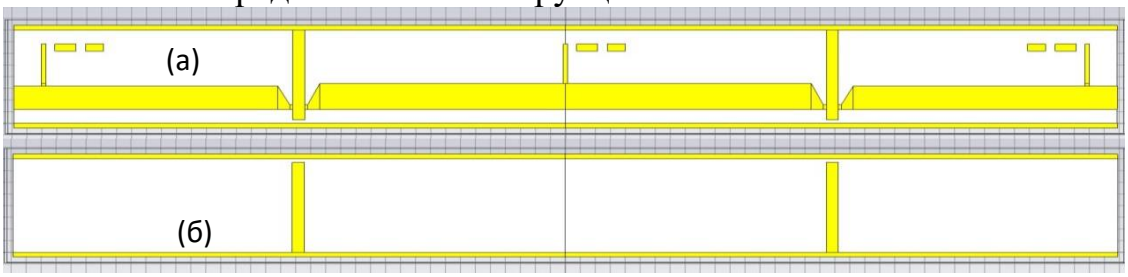
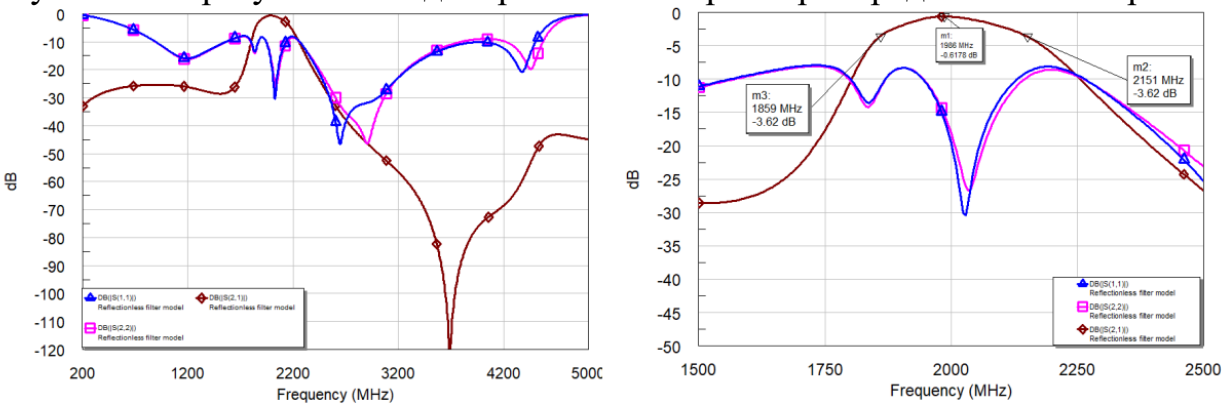


Рис. 1. Топология неотражающего фильтра, (а) – топология верхнего слоя, (б) – топология нижнего слоя

Основное преимущество данной конструкции обеспечивается комбинацией взаимных и перекрестных связей резонаторов благодаря чему

увеличилась протяженность полосы заграждения и крутизна склонов АЧХ [3]. Полученные в результате моделирования S-параметры представлены на рис. 2.



а б

Рис. 2. Частотные зависимости модуля S11 и S21: а – для широкой полосы частот; б – для узкой полосы частот

Исходя из полученных результатов, минимальный уровень потерь в полосе пропускания фильтра составил 0,62 дБ. Полоса пропускания по уровню в -3 дБ составила 292 МГц. Коэффициенты отражения в полосе от 780 МГц до 4540 МГц не превышают минус 7,5 дБ.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. В. Коперский, Г. А. Кириллов, А. Р. Насыбуллин. Микрополосковый корректор амплитуды на базе неотражающего фильтра высоких частот. Сборник статей одиннадцатой Всероссийской научной школы-семинара, Саратов, 22 мая 2024 года. – Саратов: "Саратовский источник", 2024. – С. 367-370. – EDN BBWTTK..

2. Simpson DJ, Gómez-García R, Psychogiou D. Mixed-technology quasi-reflectionless planar filters: bandpass, bandstop, and multi-band designs. International Journal of Microwave and Wireless Technologies. 2019;11(5-6):466-474. doi:10.1017/S1759078719000230

3. В. В. Коперский, Г. А. Кириллов. Разработка полосового фильтра х-диапазона на подвешенной подложке. Сборник тезисов докладов XI Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, 11–12 апреля 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 91-92. – EDN VDYDVJ.

SYNTHESIS OF A QUASI-NON-REFLECTIVE S-BAND FILTER

[1]Kopersky V.V., [1]Nasybullin A.R., [2]Kirillov G.A.

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, [2]JSC «IEP «Kupol»)

This paper discusses the results of computer synthesis of a quasi-non-reflective S-band filter. Numerical characteristics of the proposed design are presented, along with frequency dependences and a computer model of the filter.

УДК 537.862

АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОУГОЛЬНОЙ СЕКТОРИАЛЬНО-СИНУСОИДАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

[1]Зондаи В.Ю., [2]Табаков Д.П.

([1]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Секториально-синусоидальная антенна (СА) была предложена авторами в [1], где она была названа радиальной синусоидальной антенной. Там же была предложена математическая модель СА, построенная с тонкопроволочного помощью интегрального представления электромагнитного поля, и представлены численные результаты для $\varphi < 30°$. С помощью численного моделирования была продемонстрирована возможность манипуляции резонансными параметрами антенны: активным входным сопротивлением R, добротностью Q и нормированной резонансной частотой x_r путем изменения φ. Данная манипуляция осуществляется вследствие изменения длины пути распространения тока. В данном докладе мы представляем анализ характеристик первого резонанса СА в диапазоне $\varphi \in [30°;90°]$. Исследование выполнено для варианта структуры с пятью периодами синусоиды.

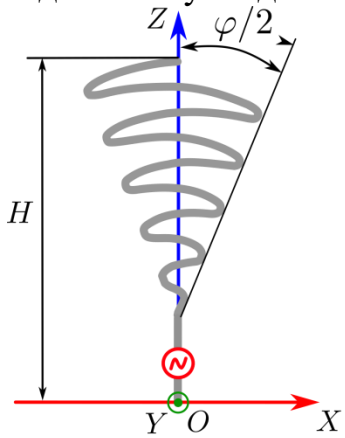


Рис. 1. Геометрия СА.

На рис. 2 показано зависимость резонансной частоты x_r от $\chi = \varphi / 90$, а на рис. 3 показаны аналогичные зависимости для R и Q.

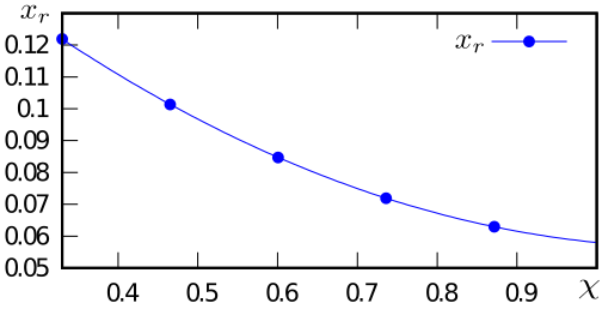


Рис. 2. Зависимости x_r от χ.

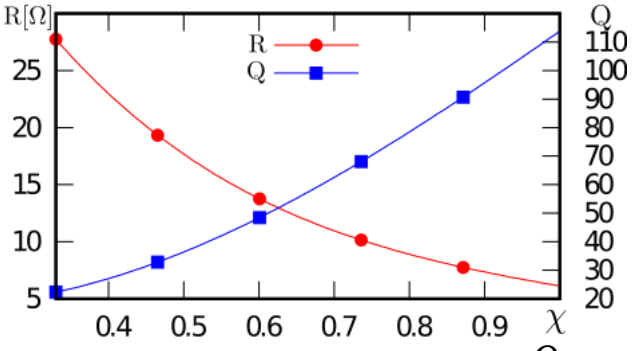


Рис. 3. Зависимости R и Q от χ

.

Сильная зависимость от χ вполне очевидна для всех трёх резонансных параметров. Заметим, что для обычного вибратора с аналогичной длиной плеча $x_r \approx 0.24$, а для СА при $\chi = 1$ $x_r \approx 0.06$, что позволяет в 4 раза уменьшить габариты антенны. Рис.3 показывает, что с ростом χ происходит значительное снижение активной части входного сопротивления и рост добротности ($R \in [6;27]$ Ом, $Q \in [20;113]$).

Хотя наблюдаемые явления не могут быть объяснены только увеличением пути распространения тока, как это было в случае с $\varphi < 30°$. Повышение добротности и понижение активного входного сопротивление связано с изменением характера взаимодействия структуры с окружающим ее пространством. Можно отметить, что компактные электрические размеры рассмотренной структуры при таких широких углах раскрыва могут представлять прикладной интерес, к примеру, при создании меток радиочастотной идентификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зондаи В.Ю., Табаков Д.П. Математическая модель радиально-синусоидальной антенны // Материалы XXXII Российская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи» (г. Самара, 25 – 28 февраля 2025 г.). – Самара: ПГУТИ, 2025. – 541 с.; с.443-444

AN ANALYSIS OF RESONANCE CHARACTERISTICS FOR A WIDE ANGLE SECTORIAL SINUSOIDAL ANTENNA

[1]Zondai W.J., [2]Tabakov D.P.

([1]Samara National Research University named after S.P, [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

An analysis of the resonance characteristics for the sectorial-sinusoidal antenna (SA) at wider aperture angles $\varphi \in [30°;90°]$, is presented. Relationships between the active input impedance, Q-factor and frequency to $\chi = \varphi / 90^{\circ}$ are formulated. It is noted that, the observed phenomena cannot only be attributed to a longer current propagation path but also to changes in the interactions between the structure and its surrounding space. The practical importance of compact electrical dimensions of the considered structure with such wide aperture angles in the field of radio frequency identification (RFID) tags is highlighted.

УДК 621.396

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОВИТКОВОЙ РАМКИ

Табаков Д.П., Николаева К.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Многовитковая рамка (МР, рис.1) – это электродинамическая структура, образованая единым замкнутым проводником L радиуса ε, расположенным на воображаемой трубчатой поверхности, образующей которой является эллипс с полуосями R_x, R_y, и при этом сама трубка также имеет в общем случае нерегулярное эллиптическое сечение, определяющееся полуосями r_x, r_y, r_z. Образующая проводника L описывается следующим параметрическим уравнением:

$$\begin{aligned} &L:\mathbf{r}(t)=\mathbf{x}_0X(t)+\mathbf{y}_0Y(t)+\mathbf{z}_0Z(t),\quad t\in[0;2\pi];\\ &X(t)=r_x\sin(t)+R_x\sin((N-1)t);\\ &Y(t)=r_y\cos(t)-R_y\cos((N-1)t);\\ &Z(t)=r_z\sin(sNt) \end{aligned} \tag{1}$$

в котором t является параметром, константа N определяет число витков проводника, а параметр $s=\pm1$ задает направление намотки проводника (правое или левое). Таким образом, семь параметров, входящих в (1) формируют возможность изменения геометрии МР в очень широких пределах.

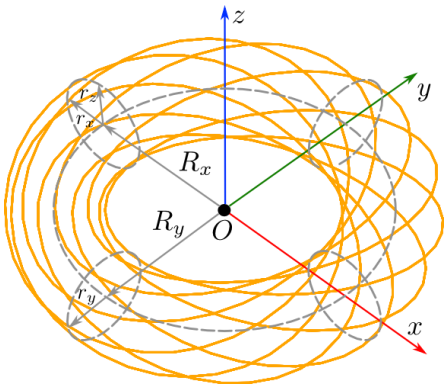


Рис. 1. Геометрия многовитковой рамки

Предложеная структура, в зависимости от выбранного варианта возбуждения токов, может рассматриваться как излучающая либо как переизлучающая. В первом случае в качестве стороннего источника необходимо использовать падающую электромагнитную волну, а во втором – точечный генератор сторонней ЭДС, расположенный непосредственно на проводнике МР. Отметим, что МР обладает свойством киральности [1], и существует в двух вариантах, определяющихся параметром s при прочих фиксированных параметрах в (1). Проводник МР при $N \gg 1$ может достигать длин, существенно превышающих поперечный размер структуры. В сочетании со свойством

замкнутости проводника это создает предпосылки яркого проявления различных эффектов в излучающих и переизлучающих структурах, сформированных на основе МР.

Решение внутренней задачи электродинамики, предполагающей расчет распределения тока $I(t)$ по образующей проводника, может быть сведено к решению интегрального уравнения (ИУ) Фредгольма 1-го рода, при этом само ИУ может быть получено на основе соответствующего интегрального представления электромагнитного поля, связывающего распределение тока $I(t)$ с создаваемым им электромагнитным полем в различных точках пространства, полученного ранее одним из авторов. Построенная указанным способом математическая модель структуры была реализована на ЭВМ. Рассмотрено возбуждение кольцевой МР ($R_x = R_y = R$), обладающей регулярным поперечным сечением ($r_x = r_y = r_z = r$), плоской электромагнитной волной, поляризованной вдоль оси OX и падающей против оси OZ. Численное моделирование выполнено при различных R/λ (λ – длина волны излучения) в предположении, что, $N = 10$, $s = 1$, $r/R = 0.3$, $\varepsilon / r_{\max} = 10^{-3}$. Выполнен анализ нормированных диаграмм рассеянного поля и распределений тока $I(t)$. Выявлена довольно сложная структура распределений тока. Показано, что при малых R/λ реактивная составляющая электромагнитного поля присутствует даже на значительном удалении от структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами [Текст] /В.А. Неганов, О.В. Осипов – М.: Радио и связь, 2006

MATHEMATICAL MODEL OF A MULTI-TURN

Tabakov D.P., Nikolaeva K.B.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract.

A model of a multi-turn frame (MTF) is proposed, which can be considered as a variant of a frame antenna, a component of phased antenna arrays, or as a key element of chiral structures [1]. MTF has a significant length of conductor, which is also closed, which creates prerequisites for the appearance of interesting effects in structures built on the basis of MTF. A rigorous mathematical model of MTF is constructed using a thin-wire integral representation of the electromagnetic field. An analysis of current distributions and normalized scattering diagrams is carried out.

УДК 537.862

МЕТОД ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОКА ДЛЯ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

Табаков Д.П.,[1,2] Мачихин В.А.[1,2]

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]Самарский государственный технический университет)

Спиральные антенны относят к антеннам бегущей волны, при этом подобный тип волны формируется при распространении тока по спиральным проводникам [1]. Очень важной задачей для спиральных антенн задачей является оценка характеристик распределений тока, таких как: коэффициент бегущих волн (КБВ), коэффициент затухания и скорость распространения волны тока. Определение этих характеристик возможно лишь после строгого решения внутренней задачи электродинамики, когда определен точный вид токовой функции, в предположении, что спектр волн тока является узкополосным. Последнее условие соблюдается во внутренней области спирального проводника и нарушается в окрестности его концов и в окрестности точек питания. Токовая функция на спиральном проводнике представляет собой комплексную функцию вида $I(x) = I'(x) + j \cdot I''(x)$, аргумент которой $x = l / \lambda$, $l \in [0, L]$ – естественный параметр на образующей проводника, L – полная длина образующей проводника, λ – длина волны излучения, j – мнимая единица. Токовая функция на спирали может быть рассмотрена в виде суперпозиции бегущей и стоячей волны:

$$I = W_{á} + W_{ñ},\ W_{á} = I' + j \cdot \tilde{I}',\ W_{c} = j \cdot (I'' - \tilde{I}'),$$

здесь и далее тильда обозначает преобразование Гильберта от соответствующей функции. Оценить амплитудное распределение бегущей $A_{á}(x)$ и стоячей $A_{c}(x)$ волн, а также локальный КБВ, можно, используя следующие формулы:

$$A_{á} = |W_{á}| = \sqrt{(I')^2 + (\tilde{I}')^2},\ A_{ñ}(x) = \sqrt{W_{c}^2 + \tilde{W}_{c}^2},\ \hat{E}\acute{A}\hat{A}(x) = A_{á}(x) / (A_{á}(x) + A_{ñ}(x)).$$

Кроме этого, преобразование Гильберта позволяет определить мгновенную фазу $\varphi(x) = \arg W_{ó}(x)$ и отношение постоянной распространения бегущей волны к волновому числу свободного пространства:

$$\beta(x)/k = -(dW_{á}(x)/dx)/(2\pi)$$

Соответствующее моделирование было проведено для пятивитковой цилиндрической спиральной антенны радиуса a, коэффициентом намотки h, расположенной над бесконечно протяженным экраном. При этом радиус-вектор $\mathbf{r}(t)$ образующей спирали описывается следующим образом:

$$\mathbf{r}(t) = \hat{\mathbf{x}} a \cos(t) + \hat{\mathbf{y}} a \sin(t) + \hat{\mathbf{z}} h t,\ t \in [0, 2\pi N], N = 5,$$

здесь t – угловой параметр, связанный с натуральным параметром соотношением $t = l / \sqrt{a^2 + h^2}$, $\hat{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{y}}, \hat{\mathbf{z}}$ – орты декартовой системы координат.

Моделирование проводилось для следующих отношений параметров: $h/a = 2/5, \varepsilon/a = 2/100$, здесь ε – радиус провода спирали. Результаты расчетов для случаев $a/\lambda = 0.1$ и $a/\lambda = 0.15$ показаны на рис.1 сверху и снизу соответственно.

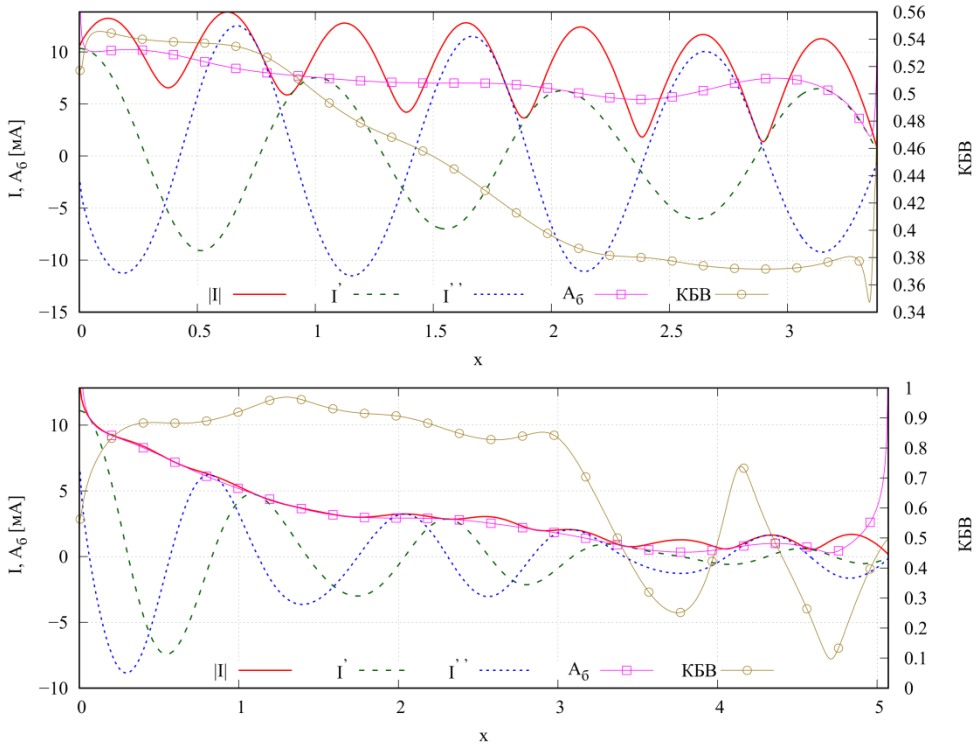


Рис. 1. Результаты расчета распределений тока, амплитуды бегущей волны и КБВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн./ Под ред. В.А. Неганова. — М.: Радиотехника, 2009. — 720 с. — ISBN 978-5-88070-222-0

METHOD FOR ESTIMATION OF CURRENT DISTRIBUTION CHARACTERISTICS FOR HELICAL ANTENNAS

Tabakov D.P., [1,2] *Machikhin V.A.* [1,2]

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [2]Samara Polytech Flagship University))

Abstract.

A method for estimating the current distribution characteristics of helical antennas is proposed. The method assumes that the current in a helical conductor is a mixed wave with a narrowband spectrum. Using the Hilbert transform for the current function, one can estimate the amplitude distribution of the traveling and standing current waves, the local coefficient of the traveling wave, and the local phase and frequency of the current wave. Results of numerical simulation for a helical antenna are presented.

РАСЧЁТ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА ТОНКОГО ПРОВОДА

Малкин В.Д., Табаков Д.П.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Расчет распределения заряда по некоторой поверхности представляет собой одну из наиболее важных задач электростатики, позволяющий понять особенности полей, формируемых рассматриваемыми структурами, а также получить весовую функцию распределения поверхностных токов для решения методом моментов аналогичных задач электродинамики. Одной из наиболее простых задач подобного рода является расчет поверхностной плотности заряда по тонкому проводнику, алгоритм решения которой сформулирован в данной работе на основе метода скалярного электрического потенциала. Целью работы является численное моделирование по данному алгоритму. проведение Электрический потенциал в точке r, обусловленный плотностью электрического заряда q_e определяется интегралом:

$$\varphi_e = \iiint_V \frac{q_e(r')}{4\pi\varepsilon_0 \,|\, r - r' \,|} dr' \qquad (1)$$

где |r − r′| расстояние от точки r′ до точки наблюдения r. Рассмотрим тонкий провод длиной L и радиусом a, ориентированным вдоль оси x(рис.1). Если радиус провода очень мал по сравнению с длиной (a << L), а электрический потенциал нам заранее известен, поверхностная плотность заряда $q_e(x')$ на проводе может быть найдена посредством решения следующего интегрального уравнения:

$$\varphi_e = \int_0^L \frac{q_e(x')}{4\pi\varepsilon_0 \sqrt{(x-x')^2 + a^2}} dx'.$$

(2)

Разобьём провод на N отдельных участков (сегментов) длиной Δx.

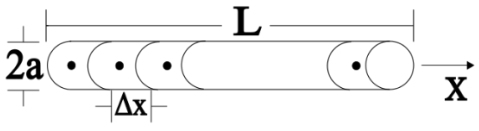


Рис. 1. Геометрия задачи

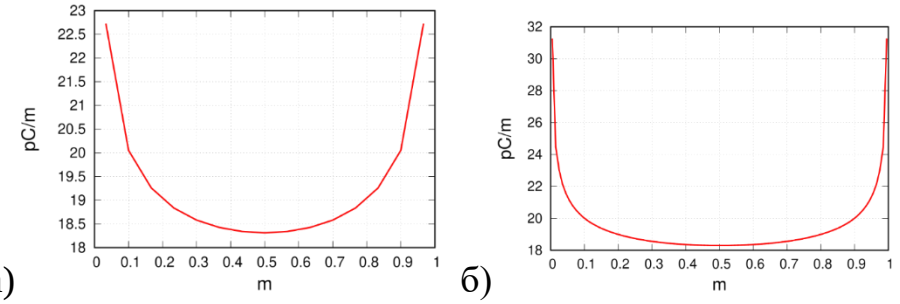
Используя метод моментов, предположим что искомая функция распределения потенциала φ_e постоянна на всей длине провода. В результате нахождение $q_e(r')$ сводится к нахождению коэффициентов a_n входящих в СЛАУ [1, с. 34]:

$$1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{n=1}^{N}a_n\int_{x_a}^{x_b}\frac{dx'}{\sqrt{(x-x')^2+a^2}},\ x_a=n\Delta x,\ x_b=(n+1)\Delta x;\ n=1...N \quad (4)$$

Решение внутреннего интеграла в выражении (6) по [2, с. 46] записывается как:

$$z_{mn}=\log\left[\frac{(x_b-x_m)+\sqrt{(x_b-x_n)^2+a^2}}{(x_a-x_m)+\sqrt{(x_b-x_n)^2+a^2}}\right],\ x_n=n\Delta x+\Delta x/2,\ n,m=1...N. \quad (5)$$

В результате нами были получены следующие распределения заряда (рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Рассчитанное распределение заряда: а – для 15 сегментов; б – для 100 сегментов

Представленные результаты полностью соответствуют физике процесса и показывают, что функция распределения зарядов на проводнике $q_e(x')$ имеет особенности на концах проводника, которые можно учесть, введя в метод моментов соответствующую весовую функцию. Алгоритм решения интегрального уравнения (2) и СЛАУ (4) были написан с использованием средств языка программирования Common-lisp, графики решений данного уравнения были построены с использование программы Gnuplot.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gibson, Walton C. The method of moments in electromagnetics

2. H. Dwight, Tables of Integrals and Other Mathematical Data. TheMacmillanCompany, 1961.

CALCULATION OF THE SURFACECHARGEDENSITY OF A THINWIRE

Malkin V.D., Tabakov D.P.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problem of the distribution of the surface chargedensityover a thin conductor is considered. This scalarpotential problem is reduced to the Fredholmintegralequation of the firstkind. The solution of the integralequation was carried out by the collocation method. The results of calculations of the charge distribution for a different number of segmentsin to which the conductor is divided are presented.

УДК 537.862

РАСЧЁТ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА ПОЛОГО ЦИЛИНДРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОМЕНТОВ

Малкин В.Д., Табаков Д.П.
(«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В проблемах электростатики электрический потенциал в точке r, обусловленный плотностью электрического заряда q_e определяется интегралом:

$$\varphi_e(r) = \iiint_V \frac{q_e(r')}{4\pi\varepsilon_0 \mid r - r' \mid} dr' \tag{1}$$

Если электрический потенциал $\varphi_e(r)$ известен, но не известна плотность заряда, то (1) становится интегральным уравнением для неизвестной плотности заряда. Для решения подобных задач удобно применить методы численного решения интегральных уравнений, такие как метод моментов.

Для решения такой задачи обычно используют тонко-проволочное приближения, в котором пренебрегают геометрическими размерами провода. Как известно, при таком подходе, решение перестаёт быть корректным при несоблюдения условия a << L, где a и L – радиус и длинна провода, в данном случае при расчётах возникают осцилляции не поддающиеся физическому описанию.[1, с. 34]

Для того чтобы избавится от данного эффекта нами было предложено перейти от модели тонкого провода к модели тонкого цилиндра. В результате нахождение поверхностной плотности заряда q_e сводится к решению уравнения.

$$\varphi_e(\psi, r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_0^L \int_{\psi'=0}^{2\pi} \frac{q_e(r')}{\sqrt{(x-x')^2 + 4a^2 \sin^2(\psi'/2)}} d\psi' dx' \tag{2}$$

Геометрия задачи представлена на Рис. 1.

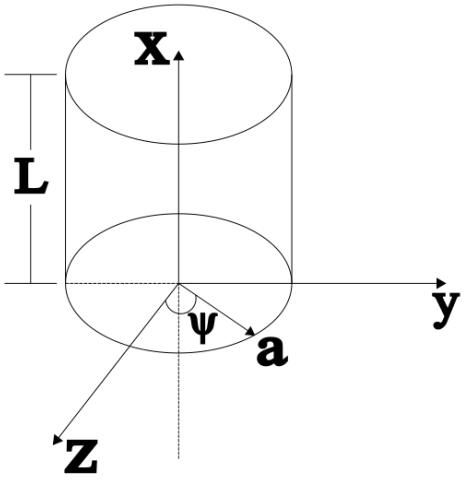


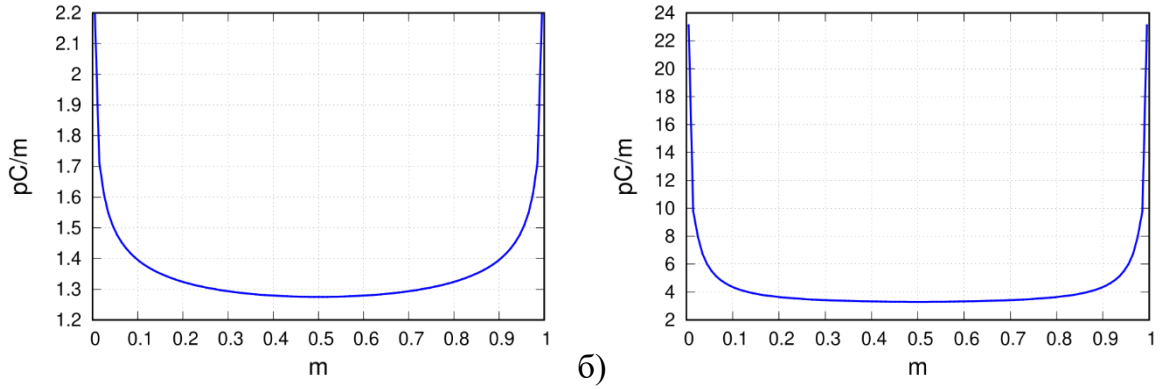
Рис. 1. Геометрия полого цилиндра

Предполагая, что потенциал равен единице, разобьём цилиндр на N участков, размером Δx, и применив метод моментов, получим СЛАУ для нахождения заряда на каждом из сегментов:

$$4\pi\varepsilon_0 = \sum_{n=1}^{N} a_n \int_{(n-1)\Delta x}^{n\Delta x} \int_{\psi'=0}^{2\pi} \frac{1}{\sqrt{(x_m - x')^2 + 4a^2 \sin^2(\psi'/2)}} d\psi' dx' \qquad (3)$$

где x_m – координаты центра сегмента.

В результате, нами были получены следующие результаты.



а) б)

Рис. 2. Распределение заряда при: а) $\frac{a}{l} = \frac{1}{1000}$, б) $\frac{a}{l} = \frac{1}{10}$

Как видно из Рис. 2, построенная модель не теряет в корректности при увеличении отношения радиуса цилиндра к его длине.

Алгоритм решения интегрального уравнения (3) был написан с использованием средств языка программирования Common-lisp, графики решений были построены с использование программы Gnuplot.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gibson, Walton C. The method of moments in electromagnetics.

CALCULATION OF THE SURFACE CHARGE DENSITY OF A HOLLOW CYLINDER USING THE METHOD OF MOMENTS

Malkin V.D., Tabakov D.P.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The problem of the distribution of the surface charge density over a hollow cylinder is considered. This scalar potential problem is reduced to the Fredholm integral equation of the first kind. The solution of the integral equation was carried out by the collocation method. The results of calculations of the charge distribution for a different number of segments into which the conductor is divided are presented.

УДК 621.396.94

СОБСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕНН

Валиуллин Р.М., Табаков Д.П.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В основе многих физических процессов лежат дифференциальные уравнения [1]. Эти уравнения описывают, как та или иная величина изменяется в пространстве и времени. Дифференциальный оператор – это математическое правило, которое берет функцию и преобразует ее в другую функцию, выражающую ее производные (т.е. скорость изменения). Для примера, данный оператор (1) означает двукратное взятие производной по координате *x*.

$$L[\psi] = \partial^2 / \partial x^2 \quad (1)$$

Собственная функция (иначе называемая характеристической функцией) линейного оператора – это такая ненулевая функция, которая под действием этого оператора преобразуется сама в себя, умноженную на некоторое число. Собственное значение – это тот самый скаляр (число), на которое умножается собственная функция. Собственную функцию можно записать следующим уравнением (2):

$$L = \partial^2 / \partial x^2 \quad (2)$$

Здесь, L – линейный дифференциальный оператор, ψ – собственная функция, λ – собственное значение, соответствующее этой функции [2].

Пример физического процесса, описываемого дифференциальными уравнениями – это струна музыкального инструмента. Собственными функциями в данном случае будут формы стоячих волн (т.е. колебания струны), собственными значениями будут частоты колебаний. Оператор L в таком случае описывает физику колебаний (суперпозицию гармоник).

В контексте электродинамики оператор L описывает законы электромагнетизма, а именно уравнения Максвелла – систему дифференциальных уравнений, которая универсально описывает все электрические и магнитные явления.

Собственные функции электродинамической системы – это особые конфигурации электромагнитных полей, которые могут существовать в данной системе (например, в объеме резонатора или на структуре антенны) без внешних воздействий. Каждая такая конфигурация называется модой (другими словами, типом колебаний). Собственные значения обычно связаны с резонансными частотами системы. Например, для полого металлического резонатора собственные функции – это возможные структуры электромагнитных полей внутри него, а собственные значения определяют частоты, на которых эти поля могут резонировать.

Таким образом, собственные функции можно охарактеризовать как универсальный инструмент, с помощью которого можно производить анализ сложных физических систем. В электродинамическом моделировании

собственные функции позволяют представить волны через комбинацию «чистых форм».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн // М.: Радиотехника, 2009. 720 с.

2. Арфкен, Дж. Математические методы в физике / Дж. Арфкен, Х. Вебер. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 730 с.

EIGENFUNCTIONS AND THEIR APPLICATION IN ELECTRODYNAMIC MODELING OF ANTENNAS

Valiullin R.M., Tabakov D.P.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This article discusses the fundamental mathematical concept of eigenfunctions and eigenvalues. Their physical interpretation is explained and their role in modern computer modeling of electrodynamic systems, in particular, antennas, is demonstrated.

УДК 537.862

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВОГО РЕЗОНАНСА ПОЛОСКОВОЙ И КОНИЧЕСКОЙ СИНУСОИДАЛЬНЫХ АНТЕНН

Зондаи В.Ю.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

Представлено сравнение активного сопротивления R и добротности Q первого резонанса полосковой (рис. 1) и конической синусоидальных (рис. 2) антенн (ПА и КА соответственно) для фиксированного числа периодов синусоиды $N = 5$, являющимися функциями нормированной переменной χ, представляющей собой отношение максимальной поперечной ширины антенн D к их высоте H для ПА, а для КА – нормированный угол раскрыва φ, т.е. $\chi = \varphi / 90^{\circ}$ [1, 2]. При этом $\chi = 0$ соответствует обычному вибратору. Ранее было установлено, что предложенные структуры могут иметь существенно более низкую в сравнении с обычным вибратором частоту первого резонанса, что можно использовать в целях миниатюризации.

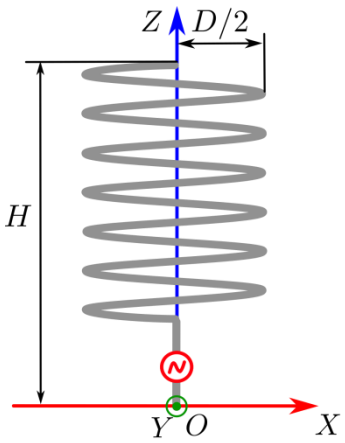


Рис. 1. Геометрия ПА

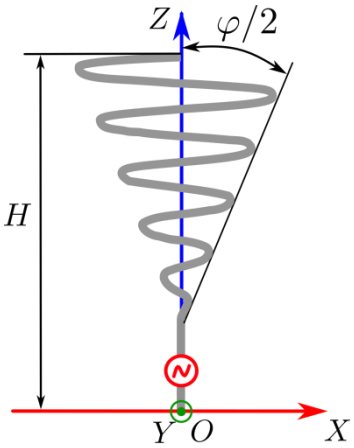


Рис. 2. Геометрия КА

На Рис.3 и 4 показаны зависимости R и Q от χ для ПА (кривые 1) и КА (кривые 2).

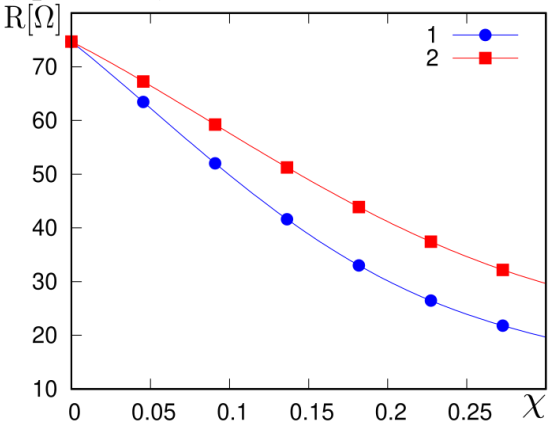


Рис. 3. Зависимости R от χ

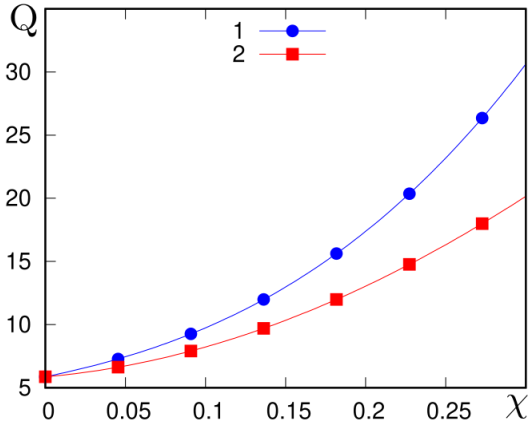


Рис. 4. Зависимости Q от χ

Обе структуры понижают входное сопротивление с ростом χ, что можно использовать для непосредственного согласования данных структур с фидерами, имеющими волновое сопротивление от 20 до 75 Ом. Видно, что ПА более чувствительна к изменениям χ. Рис. 4 показывает, что ПА имеет более высокую добротность при больших χ. Наблюдаемые различия могут быть обусловлены разными длинами путей распространения токов, а также различиями в структуре реактивных составляющих ближнего поля. Это обуславливает необходимость исследования и анализа ближних полей рассматриваемых структур, поскольку одних лишь геометрических различий недостаточно для объяснения представленных эффектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Зондаи В.Ю. Электродинамический анализ синусоидальной антенны малых волновых размеров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2024. Т. 27, № 3. с. 91–98.

2. Зондаи В.Ю., Табаков Д.П. Математическая модель конической синусоидальной антенны // Физика и технические приложения волновых процессов: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. с. 167–168.

A COMPARISON OF THE FIRST RESONANCE CHARACTERISTICS FOR THE STRIP AND THE CONICAL SINUSOIDAL ANTENNAS

Zondai W.J.

(Samara National Research University named after S.P Korolev)

This report provides a comparison between the planar sinusoidal strip and conical sinusoidal wire antennas by analysing the behaviour of the input impedance and ***Q****–factor* with changes in maximum lateral width, at resonance. The observed differences may be attributed to different lengths of current propagation paths, as well as differences in the structures' near field reactive components. This necessitates the study and analysis of the near fields of the structures under consideration, since geometric differences alone are not sufficient to explain the observations.

УДК 621.396.67

МИНИАТЮРИЗАЦИЯ И ШИРОКОПОЛОСНОСТЬ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ, РАБОТАЮЩИХ В СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКЕ

Хайруллин Р.Н., Филиппов С.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современные портативные устройства специальной связи требуют реализации компактных, многодиапазонных и широкополосных антенных систем, способных обеспечивать устойчивую работу в сложной электромагнитной обстановке (ЭМО), характеризующейся высокой плотностью радиоизлучающих средств и преднамеренными помехами [1].

Существует объективное противоречие между тенденцией к миниатюризации антенн (что ведет к сужению полосы пропускания и снижению эффективности) и требованиями по обеспечению широкополосности, энергетического потенциала и устойчивости к помехам в специальных условиях эксплуатации [2].

Миниатюризация достигается за счет применения современных решений:

- использования композитных материалов с высокой диэлектрической проницаемостью;
- применения фрактальной геометрии излучающих элементов для увеличения электрической длины на малой физической площади;
- внедрение схем активной антенной реконфигурации (перестройка частоты, диаграммы направленности с помощью PIN-диодов, варикапов и РЧ-МЭМС-переключателей) [3].

Обеспечение широкополосности и многодиапазонности является критически важным для работ. При этом оптимальными топологиями являются планарные антенны типа PIFA (Planar Inverted-F Antenna), спиральные и щелевые антенны, которые обладают врожденными широкополосными характеристиками и адаптирующихся к изменению импеданса антенн в разных частотных диапазонах к помехам [4].

Повышение устойчивости в сложной ЭМО реализуется следующими путями:

- разработкой антенн с управляемой диаграммой направленности (адаптивные антенные решетки малого размера) для пространственной селекции полезного сигнала и подавления помех;
- интеграцией в антенную систему элементов частотной фильтрации (например, использование EBG — электромагнитных кристаллов) для подавления внеполосных помех непосредственно на уровне излучателя;
- экранированием критичных элементов антенной системы для защиты от внешних наводок и перекрестных помех внутри самого устройства.

Перспективным направлением является создание интеллектуальных реконфигурируемых антенных систем, совмещающих методы структурной и схемотехнической миниатюризации, что позволит динамически подстраивать параметры антенны под текущую электромагнитную обстановку, обеспечивая тем самым гарантированную и помехозащищенную связь в реальном времени для портативных специальных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулев П.А. Антенно-фидерные устройства. Современное состояние и перспективы развития. – М.: Радиотехника, 2020. – 336 с.

2. Volakis J.L. Antenna Engineering Handbook. 5th Edition. – McGraw-Hill Education, 2018.

3. Christodoulou C.G., Tawk Y., Lane S.A., Erwin S.R. Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications // Proceedings of the IEEE. 2012. Vol. 100, No. 7. P. 2250–2261.

4. Wong K.-L. Planar Antennas for Wireless Communications. – Wiley-IEEE Press, 2003.

MINIATURIZATION AND BROADBAND OF ANTENNA SYSTEMS FOR PORTABLE SPECIAL COMMUNICATION DEVICES OPERATING IN A COMPLEX ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT

Khairullin R.N., Filippov S.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This work tackles the design of compact multi-band antennas for secure portable devices in jammed environments. It resolves miniaturization challenges through fractal geometries, reconfigurable designs, and composite materials. The proposed solutions ensure wideband operation and jamming resistance via adaptive beamforming and integrated filtering. Intelligent reconfigurable systems are highlighted for real-time EME adaptation.

УДК 537.874.2

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ МЕТА-АТОМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОУМ ВОЛН ПОСРЕДСТВОМ МЕТАПОВЕРХНОСТИ

Азаров М. В.

(Национальный исследовательский университет «МИЭТ»)

Активные исследования и попытки применения метаструктур и метаповерхностей в области СВЧ создают потребность в методиках и инструментах расчёта элементарных ячеек – мета-атомов. Для удовлетворения появляющегося спроса коллективами проводятся исследования в области расчётов параметров типовых структур, используемых в метаматериалах [1, 2]. Применяя результаты и выводы работ по данной теме, возможно свести задачу проектирования мета-атома к определению его параметров, которые определяют его импеданс. Используя же необходимые условия для формирования волны с орбитальным угловым моментом (ОУМ) при отражении падающей на метаповерхность волны [3, 4], можно выразить необходимые условия через коэффициенты отражения линейных компонент, которые связаны с импедансом следующим образом:

$$r_{xx} = \left| r_{xx} e^{j\varphi_x} \right| = \frac{Z_i^{in} - Z_0}{Z_i^{in} + Z_0}, (i = 1); \quad (1)$$

$$r_{yy} = \left| r_{yy} e^{j\varphi_y} \right| = \frac{Z_i^{in} - Z_0}{Z_i^{in} + Z_0}, (i = 2), \quad (2)$$

где $i = 1, 2$ определяют горизонтальную и вертикальную поляризации соответственно.

При этом связь импеданса с эквивалентными ёмкостями и индуктивностями рассчитываемого мета-атома представляется следующим выражением:

$$Z_i^{in} = \frac{jZ_d \tan(\beta h) * \left(j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i} \right)}{jZ_d \tan(\beta h) + j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i}}. \quad (3)$$

Для каждой линейной компоненты поляризации рассчитывается свой импеданс с соответствующим индексом i, для простоты анализа и вычислений это достаточно сделать в двух ортогональных направлениях – горизонтальной и вертикальной.

Таким образом можно рассчитать значения ёмкостей и индуктивностей мета-атома, для которых расчётные коэффициенты отражения будут иметь следующий вид, как показано на рисунке 1.

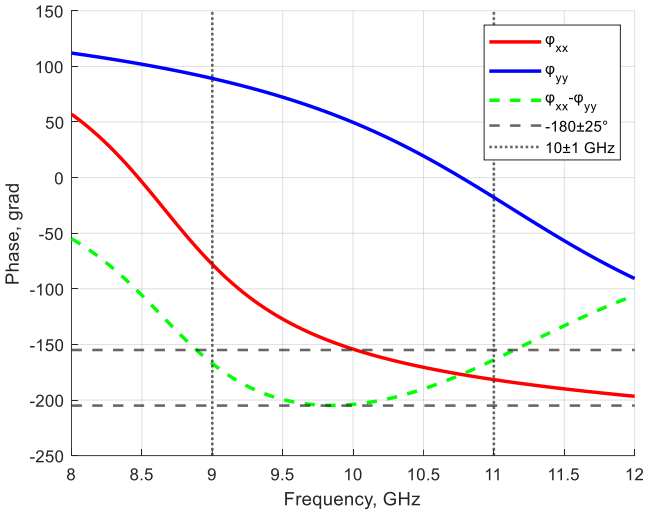


Рис. 1. Название рисунка

Из рисунка видно, что мета-атом с данными параметрами обеспечит разницу фаз коэффициентов отражения порядка 180°±25° в диапазоне частот от 9 до 11 ГГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O. Luukkonen et al., "Simple and Accurate Analytical Model of Planar Grids and High-Impedance Surfaces Comprising Metal Strips or Patches," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 56, no. 6, pp. 1624-1632, June 2008, doi: 10.1109/TAP.2008.923327.

2. D. Ferreira, R. F. S. Caldeirinha, I. Cuiñas and T. R. Fernandes, "Square Loop and Slot Frequency Selective Surfaces Study for Equivalent Circuit Model Optimization," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 9, pp. 3947-3955, Sept. 2015, doi: 10.1109/TAP.2015.2444420.

3. Y. Yao, X. Liang, M. Zhu, W. Zhu, J. Geng and R. Jin, "Analysis and Experiments on Reflection and Refraction of Orbital Angular Momentum Waves," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 4, pp. 2085-2094, April 2019, doi: 10.1109/TAP.2019.2896760.

4. Chen, Menglin LN, Li Jun Jiang, and Wei EI Sha. "Artificial perfect electric conductor-perfect magnetic conductor anisotropic metasurface for generating orbital angular momentum of microwave with nearly perfect conversion efficiency." Journal of Applied Physics 119.6 (2016).

ANALYTICAL ESTIMATION OF METAATOM PARAMETERS FOR THE FORMATION OF OAM WAVES BY METASURFACE

[1]Azarov M. V.

(National Research University of Electronic Technology)

This article describes the analytical calculation of meta-atoms through their impedance and equivalent electrical parameters to meet the conditions necessary for the formation of OAM waves.

УДК 621.396.67

РАСЧЁТ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОТИПА ЭЛЕМЕНТА МЕТАМАТЕРИАЛА МОДИФИЦИРОВАННЫМ КЛАССИЧЕСКИМ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ

[1,2]Безлюдников К.О

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Автором в [1] и [2] были рассмотрены общие варианты применения семейства генетических алгоритмов (ГА) в технике антенн.

КГА был предложен основоположником этой математической теории Джоном Холландом в [3], его схема с модификацией (помечена заливкой и буквой «М» над блоком) представлена на рис. 1.

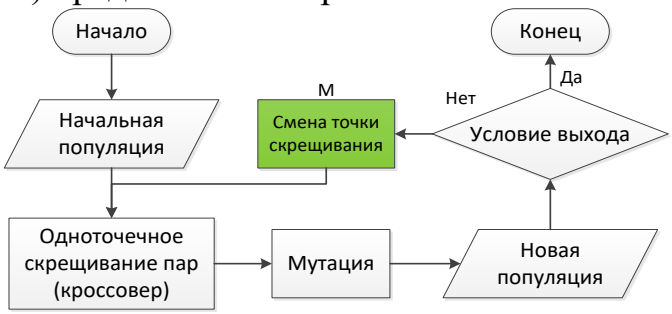


Рис. 1. Блок-схема модифицированного КГА по Холланду

В данном расчёте применялся скромный набор исходной популяции элементов, а именно четыре, все в плоском исполнении: S-элемент, двухвитковая левая спираль, четырёхвитковая левая спираль и двухзаходный гаммаддион. Это означает, что при применении одноточечного скрещивания (далее просто скрещивание) в одной и той же точке, новая популяция быстро перестанет насыщаться с новой итерацией. В связи с этим, операция скрещивания производилась в разных точках в каждом поколении, в этом и заключается модификация КГА по Холланду.

Скрещивание производилось путем обмена геометрии элементов. Для этого, каждый элемент был представлен в виде квадратной матрицы (хромосомы) 37х37 элементов, каждая ячейка (ген) которой была буквально закодирована геометрическим параметром: «1» - есть металл, «0» - нет металла. Таким образом, получились 4 хромосомы 37х37 генов, представленные на рис. 2. Цветом выделены ячейки с «1» для наглядности.

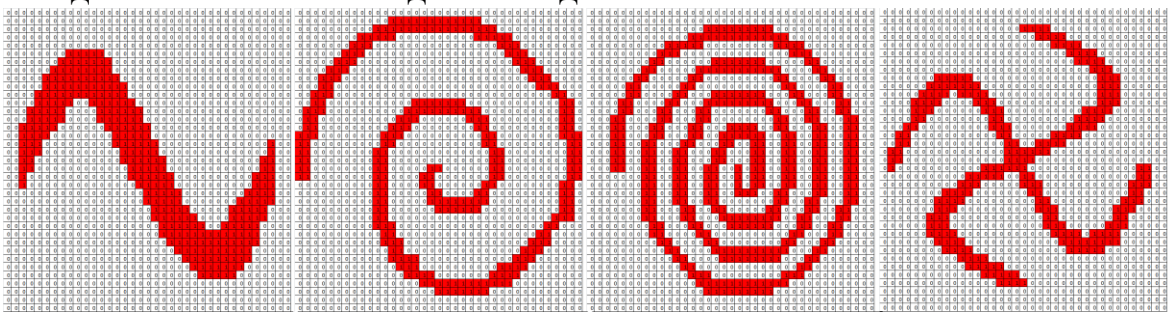


Рис. 2. Начальная популяция – четыре матрицы 37х37 ячеек

Далее, к ним был применен модифицированный КГА по Холланду. После каждого скрещивания осуществляется операция мутации – случайное изменение каждого гена, в данном случае, с вероятностью $p = 0{,}01$, чтобы проще понять суть конечного результата изменения геометрии. На рис. 3 представлены 4 особи (хромосомы, элемента) 4-ого поколения.

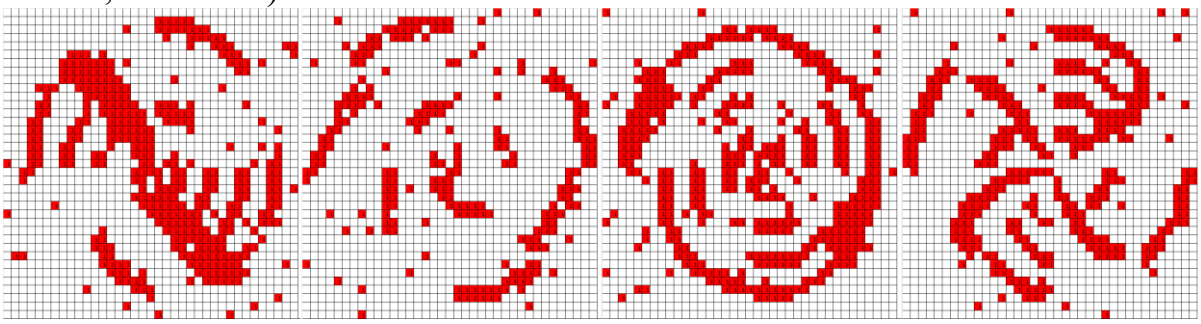


Рис. 3. Четвертое поколение – четыре матрицы 37x37 ячеек

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безлюдников К.О. Перспективы синтеза антенных систем и метаматериалов на основе генетических алгоритмов // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: материалы XXVI Международной научно-технической конференции. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. С. 320-321.

2. Безлюдников К.О. Кольчугин Ю.И. Подходы к формализации антенн для использования генетических алгоритмов, их исследования и оптимизации // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. С. 209-210.

3. Holland J.H. Genetic Algorithms // Scientific American, a division of Nature America, Inc. 1992. Vol. 267, no. 1, pp. 66-73.

GEOMETRY CALCULATION OF A METAMATERIAL ELEMENT USING A MODIFIED CLASSICAL GENETIC ALGORITHM

[1,2]Bezlyudnikov K.O.

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems",
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

This article provides an option for calculating the geometry of a metamaterial element using a modified classical genetic algorithm. The elements are represented as 37x37 matrices, where "1" indicates the presence of metal and "0" indicates its absence.

УДК 621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ ПРОТОТИПОВ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАМАТЕРИАЛА

[1,2]Безлюдников К.О

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Автором была предложена модификация классического генетического алгоритма из [1], представлена на рис. 1.

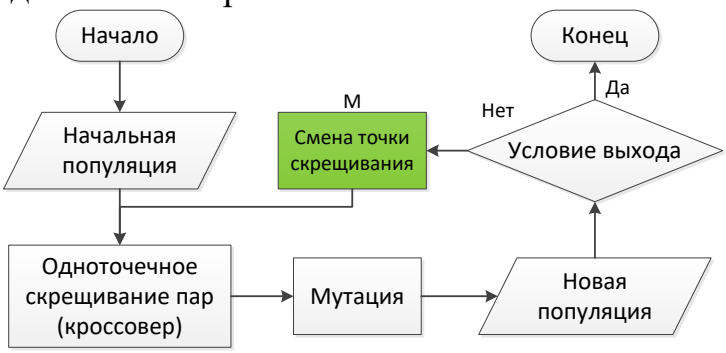


Рис. 1. Блок-схема модифицированного КГА по Холланду

По этому алгоритму автором были получены 4 генетических элемента, геометрия которых в матричном виде представлена на рис. 2.

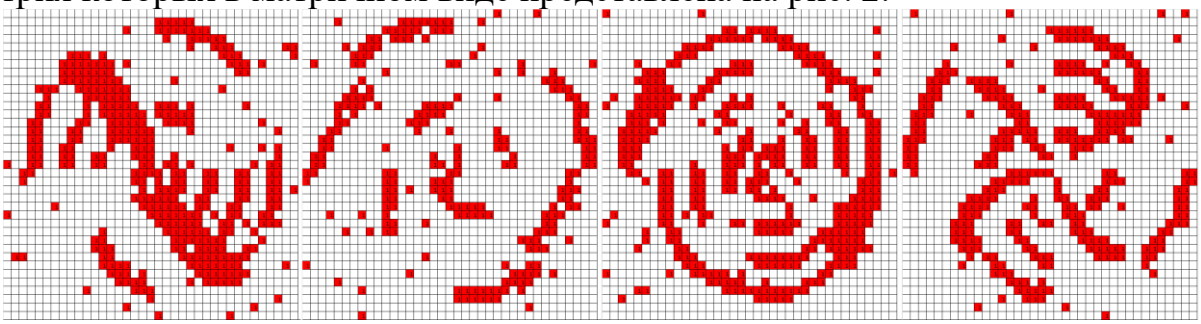


Рис. 2. Четвертое поколение – четыре матрицы 37х37 ячеек

В САПР Altair FEKO были построены электродинамические модели этих четырёх элементов. После построения основных моделей по рис.2, была произведена их настройка. Лучшую частотную характеристику рассеяния, а также рассеивание по азимуту на резонансной частоте из четырех моделей показала первая матрица справа. Ее частотная характеристика рассеяния представлена на рис. 3, а 3D-модель (вид сверху) и азимутальная диаграмма рассеяния на резонансной частоте 525 МГц при нормальном падении волны – на рис. 4.

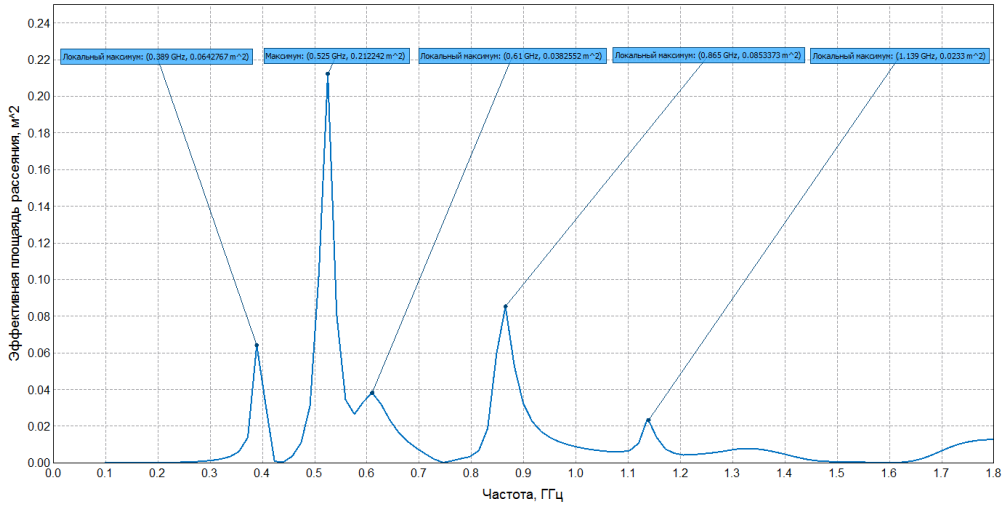


Рис. 3. Зависимость эффективной площади рассеяния от частоты

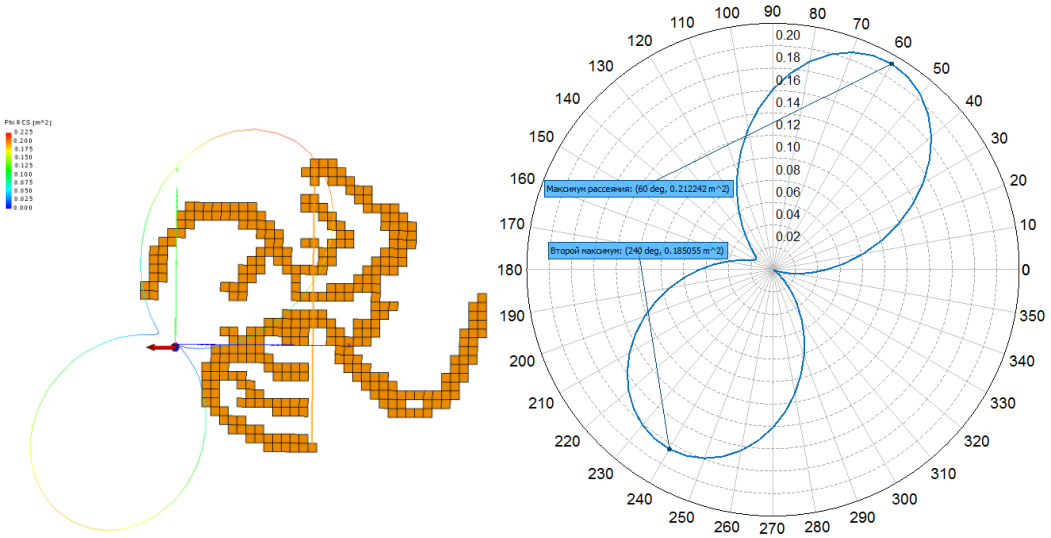


Рис. 4. Модель 4-ого элемента, вид «сверху» (слева);
азимутальная диаграмма рассеяния на частоте 525 МГц (справа)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Holland J.H. Genetic Algorithms // Scientific American, a division of Nature America, Inc. 1992. Vol. 267, no. 1. P. 66-73.

INVESTIGATION OF THE SCATTERING CHARACTERISTICS OF THE GENETIC ELEMENTS OF A METAMATERIAL

[1,2]*Bezlyudnikov K.O.*

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems",
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

In this article, the characteristics of the elements of the metamaterial, previously obtained by the author using the canonical genetic algorithm with the author's modification, have been studied.

УДК 621.396.67

КИРАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВИДЕ ПЛОСКИХ СПИРАЛЕЙ И МЕТАПОВЕРХНОСТИ НА ИХ ОСНОВЕ

[1,2]Бузова М.А., [1]Вдовченко Е.С., [1,2]Минкин М.А.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Метаповерхности на основе плоских киральных элементов различной геометрии находят все более широкое распространение в антенной технике. Основными преимуществами решений на основе метаповерхностей по сравнению с объемными метаматериалами являются компактность и технологичность [1].

Элементы киральных метаповерхностей представляют собой зеркально асимметричные плоские структуры. Наиболее распространенными вариантами являются S-элементы и гаммадионы [2]. В то же время, перспективным вариантом построения киральных элементов представляется использование плоских спиральных катушек индуктивности.

В докладе рассмотрены характеристики плоских спиральных катушек различной геометрии и метаповерхностей на их основе при различных режимах возбуждения.

На рис.1, в качестве примера, приведены характеристики эквивалентного поверхностного тока для метаповерхностей с различным числом элементов при падении плоской волны под углом 45°. Во всех случаях наблюдаются резонансы на кратных частотах.

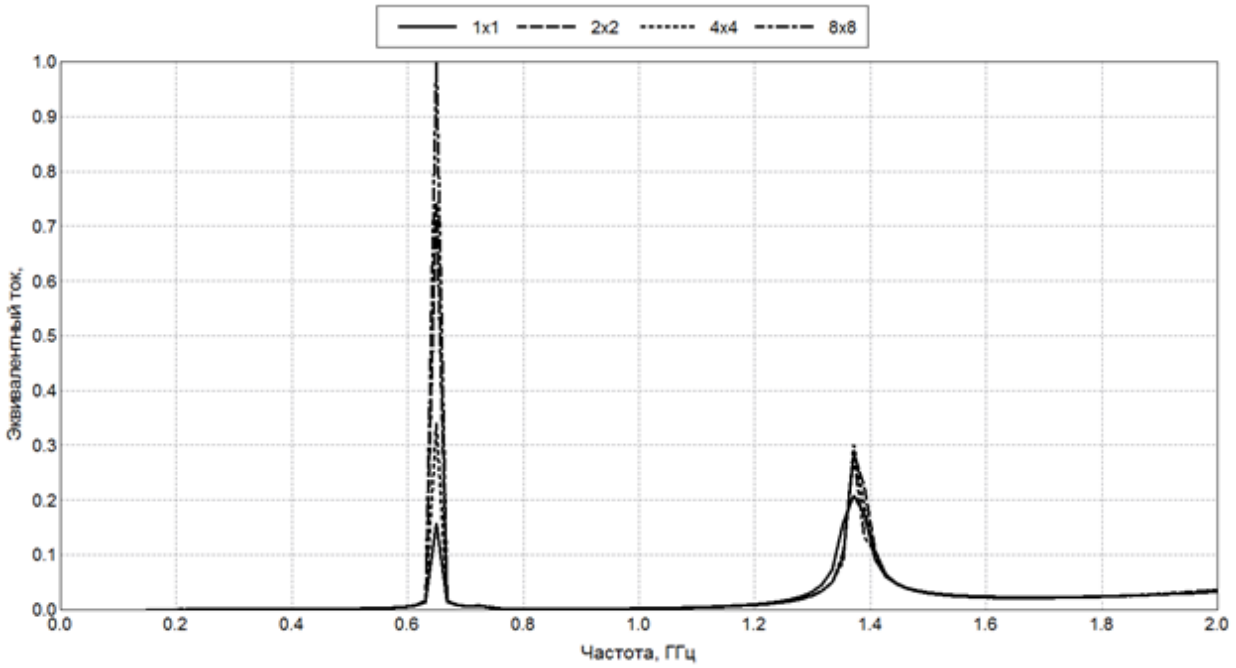


Рис.1. Характеристики эквивалентного тока на метаповерхности

Характеристики рассеяния на резонансных частотах приведены на рис.2. Обращает на себя внимание относительно высокий, особенно на первой

резонансной частоте, уровень бокового рассеяния, связанный, предположительно, с возбуждением поверхностных волн.

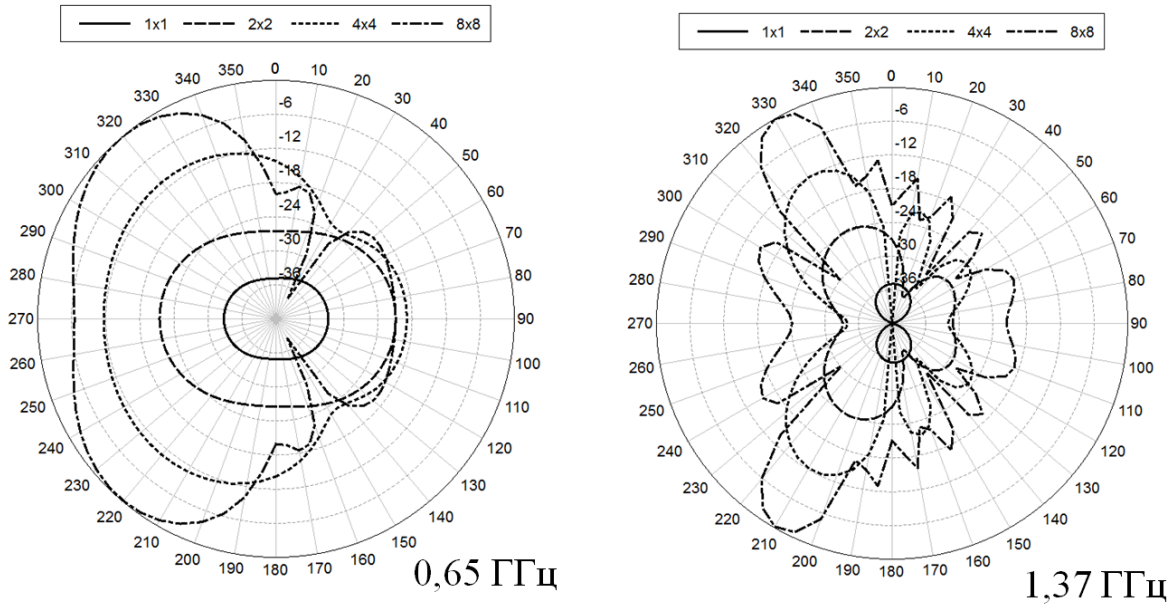


Рис.2. Характеристики рассеяния плоской волны на метаповерхности

Рассеяние (отражение) волны в направлении источника (45°) существенно ослаблено, что свидетельствует о перспективности подобных решений для создания покрытий, снижающих радиолокационную заметность объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Вдовченко Е.С., Минкин М.А., Морозов Д.В., Нещерет А.М. Перспективы использования конформных структур и метаповерхностей в антенных системах мобильных объектов // Инфокоммуникационные технологии. 2024. №4. С. 31-36.

2. Бузов А.Л., Копылов Д.А., Нещерет А.М. Экспериментальное исследование излучающих структур с подложками из планарного кирального метаматериала на основе S-элементов и гаммадионов // Радиотехника. 2023. Т. 87, № 6. С. 136-142.

CHIRAL ELEMENTS IN THE FORM OF FLAT SPIRALS AND METASURFACES BASED ON THEM

[1,2]Buzova M.A.,[1]Vdovchenko E.S., [1,2]Minkin M.A.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[2] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

The characteristics of metasurfaces based on chiral elements in the form of flat spirals have been studied. The prospects of such solutions for creating reflectors, screens, and coatings with special properties have been shown.

УДК 621.396.67

ДВУХСЛОЙНЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПЛОСКИХ СПИРАЛЕЙ

[1]Вдовченко Е.С., [2]Кольчугин Ю.И., [1,2]Минкин М.А.

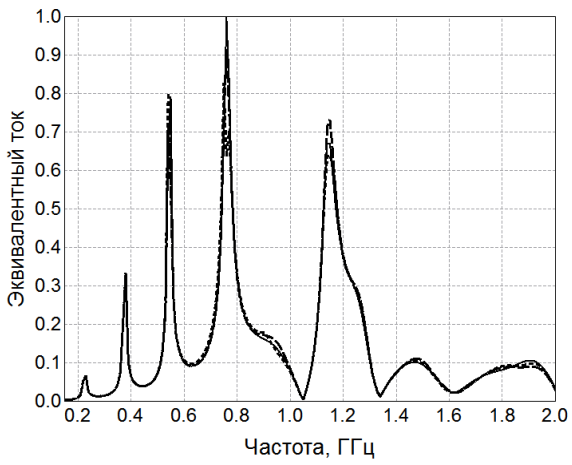
([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Киральные метаповерхности на основе планарных зеркально асимметричных элементов являются перспективными узлами, находящими все более широкое применение в технике при создании конформных антенных систем, рефлекторов, экранов и антирадарных покрытий [1]. В качестве элементов метаповерхностей используются S-элементы, гаммадионы, плоские спирали и т.д. [2].

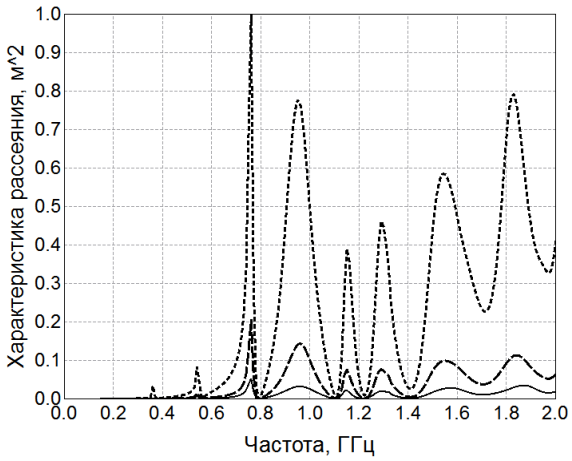
Повысить индуктивность элементов в виде плоских спиралей, а значит снизить резонансные частоты метаповерхностей при сохранении их компактности и технологичности позволяет использование двухсторонних структур с последовательно соединенными спиральными катушками, расположенными на противоположных сторонах подложки друг над другом.

В докладе приведены результаты исследования структур на основе двухслойных плоских спиралей.

На рис.1, в качестве примера, приведены характеристики нормированного эквивалентного поверхностного тока и нормированной эффективной поверхности рассеяния для структур из одного, четырех и шестнадцати элементов.



а



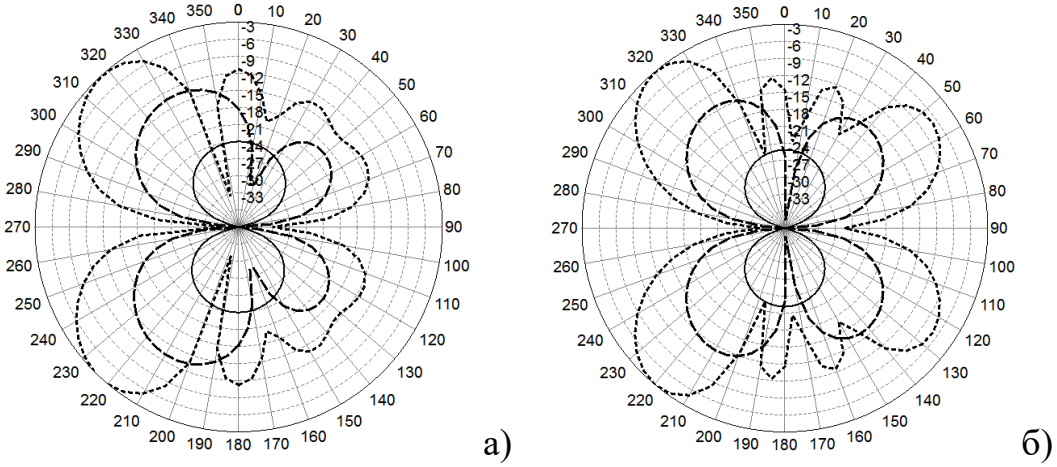
б

Рис. 1. Эквивалентный поверхностный ток (а) и эффективная поверхность рассеяния (б) для элемента (сплошные кривые), ансамбля 2x2 (длинный штрих) и 4x4 (короткий штрих)

Как и для большинства подобных метаповерхностей, характеристики содержат ряд локальных резонансов различной интенсивности, определяющих возможности использования метаповерхности в многочастотных устройствах.

Локализация резонансов слабо зависит от числа элементов, а эффективная поверхность рассеяния прямо пропорциональна их числу.

На рис.2 приведены диаграммы рассеяния на частотах двух наиболее интенсивных резонансов при падении плоской волны пол углом 45°.



а) б)

Рис.2. Диаграммы рассеяния на частотах 760 МГц (а) и 960 МГц (б) для элемента (сплошные кривые), ансамбля 2х2 (длинный штрих) и 4х4 (короткий штрих)

Диаграммы во всех рассмотренных случаях симметричны относительно плоскости метаповерхности. Одиночный элемент, кроме того, имеет диаграмму рассеяния, симметричную относительно нормали к поверхности. По мере роста числа элементов формируются лепестки диаграммы рассеяния в направлениях –45° и –135°, а отражение в направлении источника снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Вдовченко Е.С., Минкин М.А., Морозов Д.В., Нещерет А.М. Перспективы использования конформных структур и метаповерхностей в антенных системах мобильных объектов // Инфокоммуникационные технологии. 2024. №4. С. 31-36.

2. Вдовченко Е.С., Минкин М.А. Характеристики рассеяния электромагнитных волн на плоских киральных элементах и метаповерхностях на их основе // Радиотехника. 2025. Т.89, №6. С.162-169.

TWO-LAYER METAMATERIALS BASED ON FLAT SPIRALS

[1]Vdovchenko E.S., [2]Kolchugin Y.I., [1,2]Minkin M.A.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,

[2] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

The characteristics of planar two-layer metamaterials based on flat spirals have been studied. Examples of the characteristics of equivalent surface current density, effective scattering surface, and scattering diagrams are provided.

УДК 621.396.67

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ПОРТАТИВНОГО МУЛЬТИСИСТЕМНОГО ТЕРМИНАЛА В ТРАНСПОРТНОМ И РАЗВЕРНУТОМ ПОЛОЖЕНИИ

[1]Журавлев А.В., [1,2]Минкин М.А., [1]Морозов Д.В.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

В будущем, мобильные устройства профессиональной радиосвязи должны поддерживать функционирование не только в принадлежащих им, технологических или специализированных сетях, но и, в случае необходимости, в сетях других операторов, в том числе общедоступных сетях[1].

В докладе рассмотрены вопросы построения антенной системы для распространенного варианта конструктивного оформления подобного терминала в виде портативного кейса с откидной крышкой.

В транспортном положении кейс ориентирован вертикально (переносится пользователем за ручку), а в развернутом – размещается на горизонтальной поверхности, причем крышка переводится в вертикальное положение, открывая доступ к клавиатуре и органам управления.

В портативных мультисистемных терминалах обычно используют микрополосковые или низкопрофильные антенны (например, патч-антенны или PIFA – планарные инвертированные F-антенны) из-за их компактности, низкого профиля и возможности интеграции в устройство. В рассматриваемом случае была использована трехдиапазонная полосковая антенна [2], вмонтированная в откидную крышку кейса.

Связь терминала с корреспондентами должна быть обеспечена как в развернутом (для радиообмена), так и в транспортном (для поступления вызова) положении. В то же время, характеристики антенны терминала существенно зависят от его положения. В развернутом положении антенна работает оптимально, обеспечивая высокую эффективность, стабильность параметров и широкую полосу пропускания. В транспортном положении её характеристики меняются из-за влияния близко расположенных элементов конструкции терминала.

В рамках проектирования антенной системы в электродинамическую модель были включены элементы конструкции терминала, а затем выполнена оптимизация геометрии и положения антенны. В качестве критерия оптимизации в данном случае было принято достижение в каждом из трех частотных диапазонов максимального КНД в направлении на корреспондента в развернутом положении (поскольку доступна ориентация вручную, поворотом терминала) и близкая к круговой азимутальная диаграмма направленности – в транспортном (поскольку направление прихода входящего вызова заранее не известно). Одновременно вводились ограничения на максимальное значение КСВН.

По результатам оптимизации было обосновано компоновочное решение, удовлетворяющее предъявленным требованиям. На рис.1, в качестве примера, приведены реализованные диаграммы направленности антенны, нормированные на максимальные значения для развернутого положения.

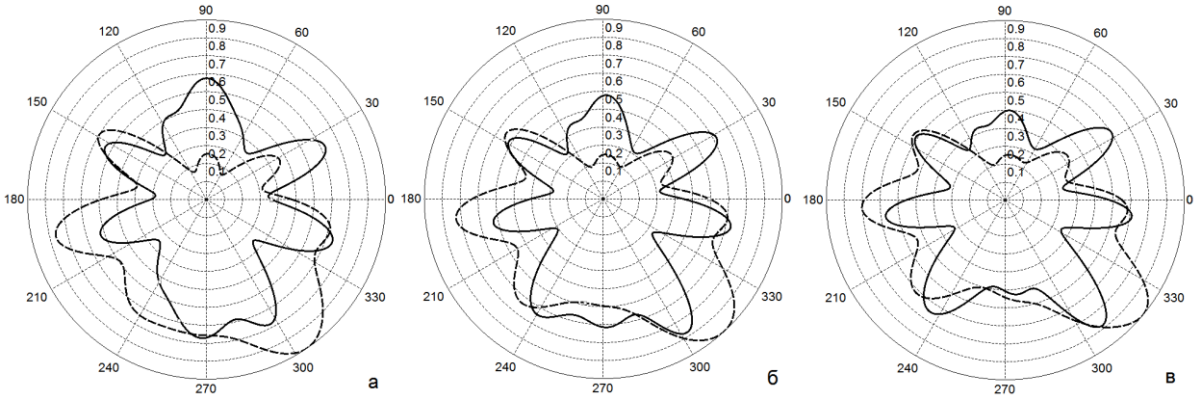


Рис. 1. ДН в горизонтальной плоскости для транспортного (сплошная линия) и развернутого (пунктир) положений на частотах первого (а), второго (б), и третьего (в) диапазонов

По результатам синтеза обеспечена работа антенны во всех трех диапазонах с увеличенным КНД в направлении корреспондента в развернутом положении терминала и относительно равномерной (неравномерность не более 5 дБ) азимутальной диаграммой направленности в транспортном положении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Бузова М.А., Морозов Д.В. Антенные комплексы перспективных мультисистемных абонентских терминалов профессиональной подвижной радиосвязи // Радиотехника. 2025. Т.89б №6. С.141-146.

2. Бутейдар А., Саламин М.А., Сумия-эль-Хани, Белларби Л., Белларби А.А. Миниатюрная трехдиапазонная микрополосковая антенна для WLAN, LTE и WIMAX // СВЧ-электроника. 2018. № 1 (5). С. 19-23.

CHARACTERISTICS OF THE PORTABLE MULTI-SYSTEM TERMINAL'S ANTENNA IN TRANSPORT AND DEPLOYED POSITIONS

[1]*Zhuravlev A.V.,* [1,2]*Minkin M.A.,* [1]*Morozov D.V.*

([1]*Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics,* [2] *Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")*

Considered portable subscriber terminal professional mobile radio communication providing operation in several networks of different frequency bands. The antenna of the terminal should provide maximum efficiency in the working position and the ability to receive the call from any direction in the transport position. The results of the synthesis of microstrip three-band antenna multisystem terminal, providing maximum gain in the direction of the correspondent in the deployed position and minimum unevenness of the radiation pattern in the transport position.

УДК 621.396.67

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕВЗАИМНОСТИ НЕОДНОРОДНОГО СЛОЯ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОТРАЖЕНИЕ КРОСС-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

[1,2]Кузнецов Я.М., [2]Панин Д.Н.

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Киральные метаматериалы имеют уникальные характеристики, зависящие от направления распространения электромагнитной волны. Невзаимность этих материалов обусловлена их асимметричной структурой и может оказывать значительное влияние на поведение падающих волн. При взаимодействии волн линейной поляризации с таким слоем происходит изменение поляризации и амплитуды отраженных компонент, что делает эти материалы интересными для применения в различных областях науки и техники [1].

В работе рассматривается влияние параметров невзаимности неоднородных слоев киральных метаматериалов на отражение кросс-поляризованных компонент электромагнитных волн. Основное внимание уделяется численному моделированию взаимодействия волн линейной поляризации с такими слоями [2,3].

Для анализа влияния невзаимности на отражательные характеристики была разработана модель неоднородного слоя кирального метаматериала. Моделирование проводилось с использованием метода дифференциальной прогонки.

На графических изображениях (Рис. 1) отображены частотные характеристики величины коэффициента отражения кросс-поляризованной волны, отраженной от гомогенного слоя, для разных параметров невзаимности. Непрерывная линия соответствует взаимной среде, где параметр невзаимности отсутствует (равен нулю), а прерывистая и штрих-пунктирная линии демонстрируют свойства невзаимной среды при $\zeta = 0{,}1$ и $\zeta = 0{,}15$.

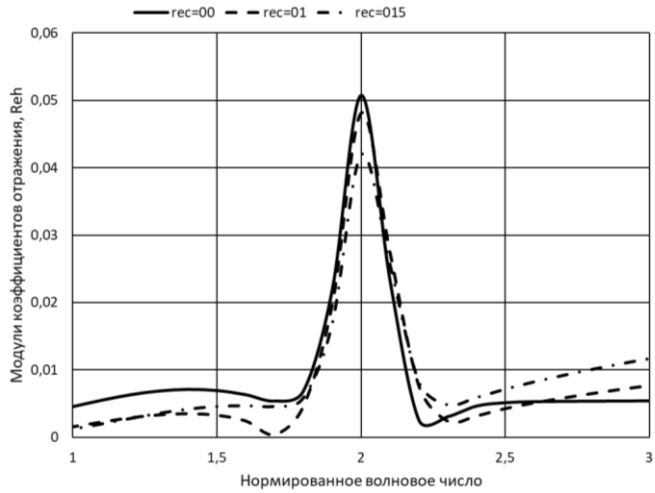


Рис. 1. Зависимости модуля коэффициента отражения кросс-поляризованной волны от частоты при различных значениях параметра невзаимности

Результаты моделирования продемонстрировали зависимость коэффициента отражения кросс-поляризованных компонент от угла падения и параметров невзаимности слоя. При малых углах падения коэффициент отражения оставался низким, однако по мере увеличения угла наблюдалось резкое увеличение этого значения из-за изменения фазовых характеристик волн.

Кроме того, изменение параметров невзаимности влияло на уровень потерь сигнала: при высоких значениях потерь коэффициент отражения снижался, что указывало на необходимость оптимизации структуры материала для достижения желаемых характеристик работы устройства.

Новые возможности применения таких материалов могут привести к созданию устройств с улучшенными характеристиками по сравнению с традиционными решениями. Это особенно актуально в условиях современных требований к надежности и эффективности систем связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valipour A. et al. Metamaterials and their applications: an overview // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications. 2022. Vol. 236, № 11. P. 2171-2210. DOI: 10.1177/1464420721995858.

2. Панин Д.Н., Осипов О.В., Кузнецов Я.М. Отражение электромагнитной волны от неоднородного и невзаимного слоя кирального метаматериала, расположенного на оптически плотной среде, с учетом дисперсии материальных параметров // Радиотехника. 2025. Т.89, №6. С.179-186. DOI: 10.18127/j00338486-202506-19.

3. Кузнецов Я.М., Панин Д.Н., Осипов О.В. Исследование отражения плоской электромагнитной волны от слоя кирального метаматериала, расположенного на проводящей плоскости с учетом неоднородности и дисперсии материальных параметров // Радиотехника. 2024. Т. 88, № 6. С. 45-50. DOI: 10.18127/j00338486-202406-07.

REQUIREMENTS FOR THE DESIGN OF THE ABSTRACTS OF THE REPORT

[1,2] Kuznetsov Ya.M., [2] Panin D.N.

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The influence of nonreciprocity parameters of inhomogeneous layers of chiral metamaterials on the reflection of cross-polarized components of electromagnetic waves is considered. The main attention is paid to the numerical modeling of the interaction of linearly polarized waves with such layers. The results of the study can be useful for the development of highly efficient antenna-feeder devices in special communication systems.

УДК 621.396.67

НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ

[1,2]Кузнецов Я.М.

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Радиопоглощающие материалы (РПМ) на основе метаматериалов представляют собой перспективное направление в развитии антенно-фидерных систем, позволяющее решать задачи миниатюризации, повышения эффективности и обеспечения электромагнитной совместимости. Эти искусственно структурированные материалы обладают свойствами, не встречающимися в природе, что открывает новые возможности для управления электромагнитными волнами. В данной работе рассматриваются основные аспекты их применения, преимущества и перспективы.

В обычных (некиральных) поглотителях для эффективного поглощения волны необходимо одновременно согласовать и электрическую, и магнитную компоненты падающей волны с импедансом материала. Это сложная задача, особенно для широкого частотного диапазона.

При помощи киральных метаматериалов уже сейчас возможно решить ряд задач, поскольку они предоставляют новые механизмы взаимодействия и преимущества:

1. В киральном материале энергия электромагнитного поля рассеивается не только за счет обычных электрических и магнитных потерь, но и за счет кросс-поляризационных взаимодействий. По сути, появляется ещё один способ для преобразования электромагнитной энергии волны в тепловую [1].

2. Некоторые типы киральных метаматериалов имеют свойства, позволяющие влиять на поляризацию падающей волны. Это свойство позволяет применять селективное поглощение. Киральный поглотитель может быть настроен так, чтобы поглощать волны одной круговой поляризации и пропускать (или отражать) волны другой [2].

3. За счет сложного взаимодействия множества киральных резонаторов, разнесенных в пространстве и имеющих слегка различающиеся резонансные частоты, можно создать материал, который эффективно поглощает в очень широкой полосе частот. Кроме того, объемная природа многих киральных метаматериалов (в отличие от плоских метаповерхностей) делает их поглощение менее зависимым от угла падения волны.

Одним из вариантов применения метаматериалов являются использование их в составе щелевых резонаторовы (SRR — Split Ring Resonators), которые обеспечивают резонансное поглощение на определённых частотах[3]. Эти свойства делают метаматериалы идеальными кандидатами для создания высокоэффективных РПМ.

Метаматериалы используются для создания поверхностей с высоким импедансом, которые могут улучшать направленность и коэффициент усиления

антенн[4]. Например, в антенных решётках на основе диэлектрических резонаторов (DRA) метаповерхности позволяют аккумулировать и преобразовывать боковые электромагнитные волны в плоскостные, что повышает усиление и эффективность антенны.

РПМ на основе метаматериалов применяются для подавления паразитных излучений и отражений в антенно-фидерных системах. Например, они могут использоваться в радиопрозрачных укрытиях (РПУ) для защиты антенных устройств от внешних воздействий без ухудшения их характеристик. Также они эффективны для стабилизации диаграмм направленности антенн в широком частотном диапазоне[5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин Д.Н., Осипов О.В., Кузнецов Я.М. Отражение электромагнитной волны от неоднородного и невзаимного слоя кирального метаматериала, расположенного на оптически плотной среде, с учетом дисперсии материальных параметров // Радиотехника. 2025. Т.89, №6. С.179-186. DOI: 10.18127/j00338486-202506-19.

2. Кузнецов Я.М., Панин Д.Н., Осипов О.В. Исследование отражения плоской электромагнитной волны от слоя кирального метаматериала, расположенного на проводящей плоскости с учетом неоднородности и дисперсии материальных параметров // Радиотехника. 2024. Т. 88, № 6. С. 45-50. DOI: 10.18127/j00338486-202406-07.

3. Valipour A. et al. Metamaterials and their applications: an overview // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L: Journal of Materials: Design and Applications. 2022. Vol. 236, № 11. P. 2171-2210.

4. Басков К.М. и др. Метаматериал с повышенной механической прочностью и диэлектрической проницаемостью, близкой к единице. Совершенствование конструкции // Современная электродинамика. 2023. № 5 (7). С. 30-38.

5. Лагарьков А.Н., Кисель В.Н., Сарычев А.К., Семененко В.Н. Электрофизика и электродинамика метаматериалов // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48, № 6. С. 1031-1048.

REQUIREMENTS FOR THE DESIGN OF THE ABSTRACTS OF THE REPORT

[1,2] Kuznetsov Ya.M.,

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems",
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Radio-absorbing materials based on metamaterials represent a promising direction in the development of antenna-feeder systems, which allows solving the problems of miniaturization, increasing efficiency and ensuring electromagnetic compatibility. These artificially structured materials have properties not found in nature, which opens up new possibilities for controlling electromagnetic waves. This paper discusses the main aspects of their application, advantages and prospects.

УДК 621.396.67

ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА ДЛЯ УЗЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ MESH-СЕТЕЙ

[1,2]Бузова М.А., [2]Краминский Д.А., [1]Копылов Д.А

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Антенна представляет собой два каскада полосковых излучателей по восемь штук, расположенных с фронтальных сторон от двух параллельных экранов, и осуществляет поляризационно-пространственное разделение сигналов диапазона Wi-Fi 5 ГГц [1,2]. Общий вид антенны (электродинамическая модель) представлен на рис. 1.

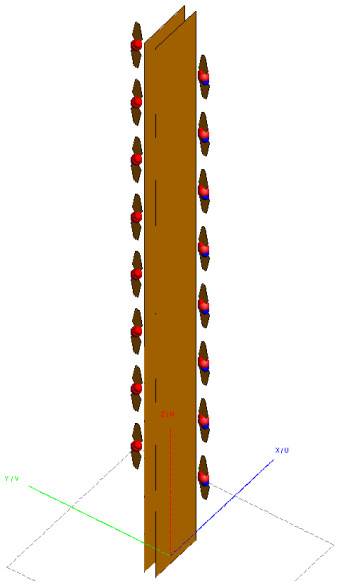
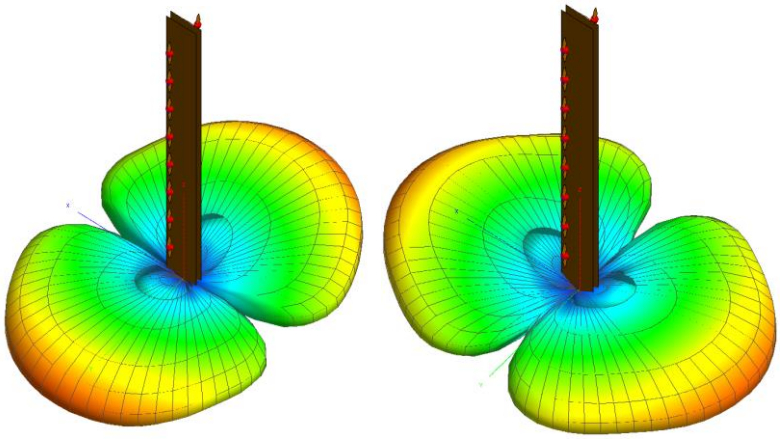


Рис. 1. Электродинамическая модель двухполяризационной антенны

Трехмерные диаграммы КУ для вертикальной и горизонтальной поляризаций на частоте 5 ГГц представлены на рис. 2 а) и б) соответственно. На этой частоте КУ для вертикальной поляризации составляет 15,3 дБи и 15,9 дБи для горизонтальной.



а) *б)*

Рис. 2 а) Трехмерная диаграмма КУ для вертикальной поляризации;
б) Трехмерная диаграмма КУ для горизонтальной поляризации

Сравнение диаграмм по КУ для двух поляризаций представлено на рис. 3

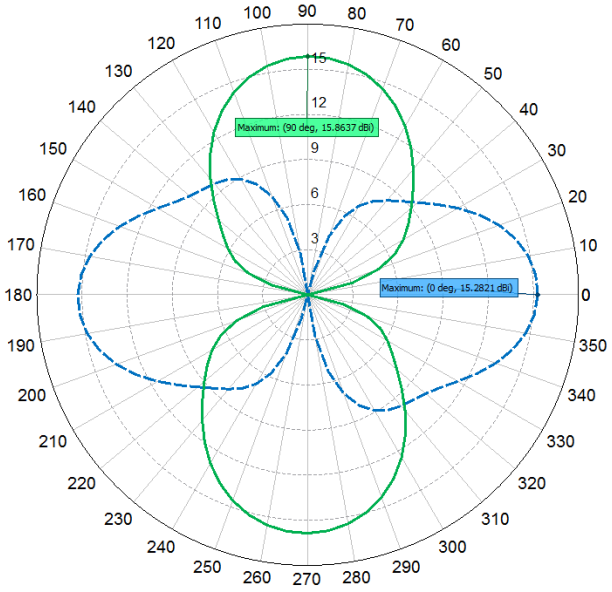


Рис. 3. Диаграмма направленности КУ для вертикальной(сплошной) и горизонтальной(штриховой) поляризаций

Таким образом, в настоящей работе приведены характеристики направленности двухполяризационной полосковой антенны для узлов перспективных профессиональных mesh-сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев К.Г., Филатов А.Д., Сополев А.П. Поляризационная модуляция. – М.: Советское радио, 1974. – 288 с.
2. Бузова М.А., Минкин М.А., Рубис А.А. Приемная антенная система ВЧ диапазона с возможностями поляризационной адаптации // Антенны. 2019. № 1. С. 44 – 51.

BIPOLARIZATION STRIP ANTENNA FOR PROSPECTIVE PROFESSIONAL MESH NETWORKS

[1,2]Buzova M.A., [2]Kraminskiy D.A., [1]Kopylov D.A
([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems",
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

This article provides the antenna that consists of two cascades of eight strip radiators located on the front sides of two parallel screens, and provides polarization and spatial separation of 5 GHz Wi-Fi signals.

УДК 621.396.67

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ЭМС ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ВБЛИЗИ МУЛЬТИСИСТЕМНОГО ТЕРМИНАЛА

[1,2]Губарева О.Ю., [1,2]Минкин М.А., [2]Морозов Д.В., [1]Носов Н.А.

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Перспективным способом улучшения устойчивости и надежности коммуникаций в профессиональных мобильных радиосетях является применение мультисистемных устройств. Эти устройства обеспечивают возможность установления связи не только в рамках собственной сети, но и в других сетях, включая общедоступные и спутниковые каналы. Для этого соответствующий антенный модуль, входящий в состав терминала, должен включать, помимо стандартных (интегрированных) антенн, дополнительную антенну для спутниковой связи [1], расположенную недалеко от устройства.

При необходимости одновременной работы терминала в двух сетях (одновременная работа с двумя корреспондентами, режим ретрансляции и т.п.), особенно если рабочие диапазоны близки или перекрываются, возникает необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), для чего требуется реализация достаточно высокой развязки между антеннами.

В докладе исследованы характеристики развязки между штатной антенной терминала (плоская двухзаходная спираль на откидной крышке терминала) и дополнительной спутниковой антенной (коническая логоспиральная [2]) в зависимости от размещения спутниковой антенны относительно терминала.

Расчетные характеристики КСВН антенн приведены на рис. 1. Как видим, рабочие диапазоны антенн пересекаются.

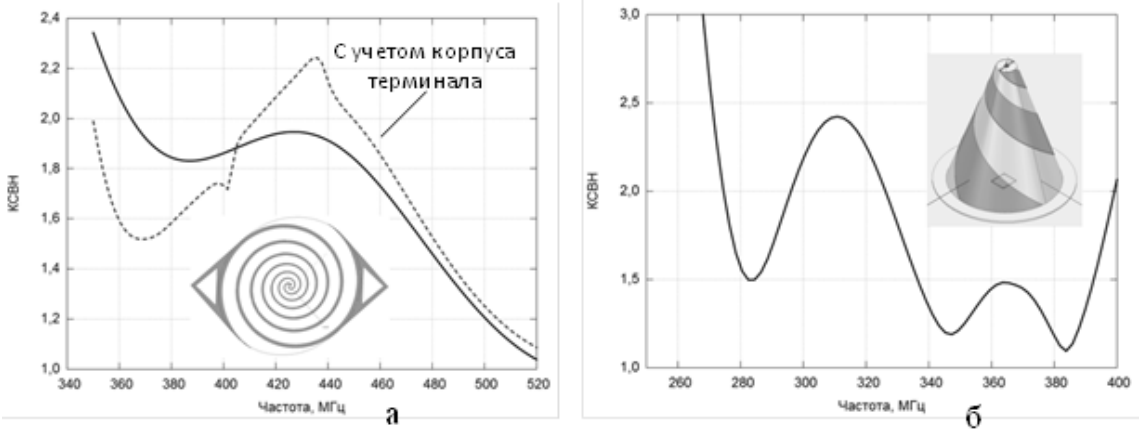


Рис. 1. КСВН антенны терминала (а) и спутниковой антенны (б)

Развязка между антеннами рассчитывалась для расположения спутниковой антенны напротив фаса поднятой крышки терминала и напротив ее торца.

Характеристики развязки приведены на рис. 2.

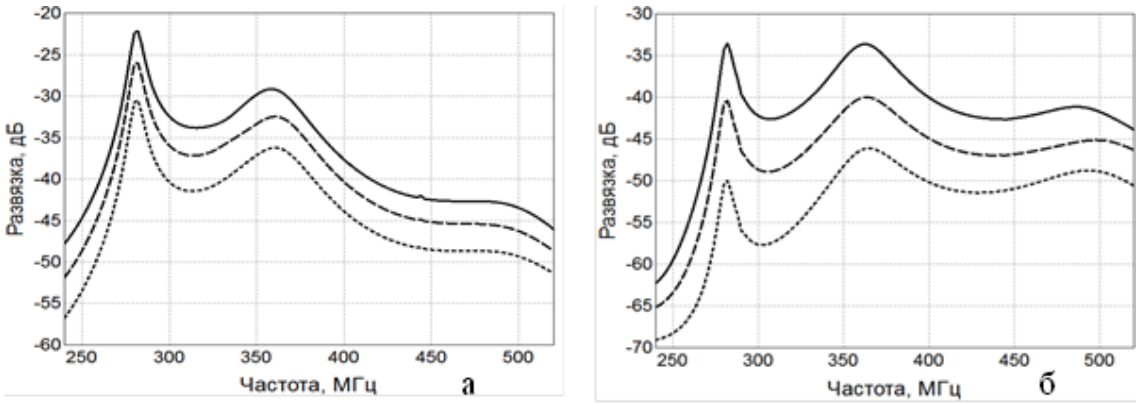


Рис.2. Характеристики развязки при размещении спутниковой антенны напротив фаса (а) и торца (б) крышки терминала на расстояниях 200 мм (сплошные кривые), 400 мм (штриховые) и 800 мм (пунктир)

Как и следовало ожидать, при фронтальном размещении (рис. 2а) взаимовлияние антенн заметно сильнее. Конкретные допустимые варианты расстановки определяются с учетом соответствующих характеристик приемопередатчиков, однако в большинстве случаев, при разумном частотном разносе используемых каналов, оказывается достаточной развязка порядка 40…45 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Бузова М.А., Морозов Д.В. Антенные комплексы перспективных мультисистемных абонентских терминалов профессиональной подвижной радиосвязи // Радиотехника. 2025. Т.89, №6. С.141-146.

2. Копылов Д.А., Нещерет А.М. Логоспиральная антенна для мобильного терминала спутниковой связи ОВЧ-УВЧ диапазона // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: материалы XXVI Международной научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2024. С. 324 – 325.

ESTIMATION OF EMC FACTORS WHEN PLACING AN ADDITIONAL SATELLITE COMMUNICATION ANTENNA NEAR A MULTISYSTEM TERMINAL

[1,2]Gubareva O.Yu., [1,2]Minkin M.A., [2]Morozov D.V., [2]Nosov N.A.

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems",
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The characteristics of the coupling between the antenna of a multi-system professional mobile radio terminal (a flat two-turn spiral on the terminal's hinged cover) and an additional small satellite antenna (a conical log-spiral antenna) have been studied, depending on the placement of the satellite antenna relative to the terminal.

УДК 537.86 + 621.396.67 + 621.391.82

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СПУТНИКОВЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

[1,2]Борисов И.Д., [1,3]Нещерет А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «РКЦ «Прогресс», [3]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Стремительный рост количества низкоорбитальных спутниковых группировок (таких как Starlink, OneWeb и др.) привел к резкому обострению проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) в космическом пространстве [1-4]. Радиочастотный спектр является ограниченным ресурсом, а орбитальное пространство — переполненной средой, где работают тысячи космических аппаратов (КА). Это создает условия для возникновения взаимных помех, особенно когда спутники различных сетей используют совпадающие или смежные полосы частот без достаточного территориального или временного разноса. Помехи от мешающего КА могут нарушить работу целевого КА, приводя к ухудшению качества связи, потере данных и, в критических случаях, к полному нарушению функционирования систем связи, навигации и дистанционного зондирования Земли. Таким образом, разработка методик анализа и обеспечения ЭМС является не просто теоретической задачей, а насущной практической необходимостью для устойчивого развития космической инфраструктуры.

Данная работа посвящена вопросам оценки и обеспечения ЭМС РЭС космических аппаратов в спутниковых сетях связи, путем разработки методики расчета и анализа уровня взаимных помех между спутниковыми сетями, работающими в общих полосах радиочастот, и определение на ее основе требований к параметрам передатчиков мешающих КА для минимизации их негативного воздействия.

Показан анализ современного состояния проблемы ЭМС в космических системах, включая систематизацию видов электромагнитных помех (естественные и/или искусственные, индуктивные и/или кондуктивные, узкополосные и/или широкополосные) и методов обеспечения совместимости (организационные и технические меры).

Приведена математическая модель для оценки уровня помех на входе приемника земной станции (ЗС), создаваемых мешающим КА в условиях одновременного сеанса связи с целевым КА. Модель включает в себя расчет энергетического баланса радиолинии с учетом всех ключевых параметров: эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) передатчиков, коэффициентов усиления антенн, потерь распространения в свободном пространстве, затухания в атмосфере, газах и осадках (дожде), а также потерь, вызванных ошибками наведения антенн и поляризационной развязкой.

Определены критерии ЭМС на основе расчета отношения энергии бита к спектральной плотности мощности шума (Eb/N0) на входе приемника. Проведен сравнительный анализ двух сценариев: работы системы без воздействия помех и работы при совместном воздействии полезного сигнала и помехи.

На основании расчетов сформулированы требования к пространственному и энергетическому разносу спутниковых систем для обеспечения их совместной работы без нарушения заданного качества связи.

При оценке ЭМС РЭС космических аппаратов был использован комплексный подход, сочетающий анализ электромагнитной обстановки с детальным моделированием параметров радиолинии для подвижных (негеостационарных) КА. Разработанная методика позволяет количественно оценить уровень помех не только для статичных сценариев, но и для динамически изменяющейся геометрии взаимного расположения КА и ЗС.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании рабочих частот и орбитальных позиций новых космических аппаратов, а также для прогнозирования и предотвращения конфликтных ситуаций в эфире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Т. 2: Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем / А.Л. Бузов, и [др.]; под ред. М.А. Быховского. – М.: Красанд, 2012. – 552 с.

2. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Учебное пособие / Ю.Е. Седельников, Д.А. Веденькин; Под ред. Ю.Е. Седельникова. – Казань: ООО «Новое знание», 2016. – 344 с.

3. Электромагнитная совместимость систем спутниковой связи / Под ред. Л.Я. Кантора, В.В. Ноздрина. – М.: НИИР, 2009. – 280 с.

4. Методы расчета характеристик внутриобъектовой электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: учеб. пособие / В.Ю. Аронов и [др.]. – Самара: ПГУТИ, 2019. – 84 с.

FEATURES OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIO-ELECTRONIC MEANS OF SPACECRAFT IN SATELLITE COMMUNICATION NETWORKS

[1,2]Borisov I.D., [1,3]Neshcheret A.M.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, [2]SRC Progress JSC, [3] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

This work is devoted to the issues of assessing and ensuring electromagnetic compatibility of radio electronic means of spacecraft in satellite communication networks by developing a methodology for calculating and analyzing the level of mutual interference between satellite networks operating in common radio frequency bands, and determining on its basis the requirements for the parameters of transmitters of interfering spacecraft to minimize their negative impact.

УДК 537.86 + 621.396.67 + 621.391.82

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЦЕЛЕВОМ И МЕШАЮЩЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

[1,2]Борисов И.Д., [1,3]Нещерет А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «РКЦ «Прогресс», [3]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Настоящая работа посвящена оценке ЭМС РЭС, расположенных на целевом и мешающем космических аппаратах, путем использования методики расчета энергетического баланса радиолинии в спутниковых сетях связи [1,2].

Основу разработанной методики составляет поэтапный расчет мощностей полезного сигнала и помехи на входе приемника земной станции. Мощность полезного сигнала от целевого КА рассчитывается по модифицированному уравнению Фрииса:

$$S_{\text{полез}} = EIRP - L_{СП} + G_{ЗС} - L_{ATM} - L_{Д} - L_{H}, \quad (1)$$

где $EIRP$ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность целевого КА;

$L_{СП}$ – потери распространения в свободном пространстве, рассчитываемые по классической формуле: $32{,}4 + 20\,log(f \cdot 10^{-6}) + 20\,log(D)$;

$G_{ЗС}$– коэффициент усиления антенны ЗС в направлении целевого КА;

L_{ATM} – полные потери в атмосфере, включающие ослабление в сухом воздухе и водяном паре;

$L_{Д}$ – потери в дожде, рассчитываемые по рекомендации МСЭ Р.838-3;

L_{H} – потери, обусловленные ошибкой наведения антенны ЗС.

Аналогичным образом рассчитывается уровень помехи $I_{ПОМ}$ от мешающего КА, но с добавлением двух критически важных поправочных коэффициентов:

– потери при поляризации $L_{поляр}$ – это уменьшение мощности принимаемого сигнала, вызванное несовпадением поляризации передающей и приемной антенны.

– CF – частотная коррекция, учитывающая степень перекрытия спектров полезного и мешающего сигналов. Расчет CF зависит от величины расстройки частот $\Delta f_{расстр.}$.

Ключевым критерием для оценки качества связи и обеспечения ЭМС выбрано отношение E_b/N_0 (энергия бита к спектральной плотности шума). Методика предполагает анализ двух сценариев:

Сценарий без помех. Рассчитывается $(E_b/N_0)_{прм}$ и сравнивается с требуемым для выбранного типа модуляции и заданной вероятности ошибки значением$(E_b/N_0)_{треб.}$. Разница $M = (E_b/N_0)_{прм} - (E_b/N_0)_{треб.}$ представляет собой энергетический запас системы, который должен быть положительным.

Сценарий с помехой: Шумовая обстановка ухудшается за счет добавления мощности помехи. Суммарная мощность шума $N_{общ}$ рассчитывается как логарифмическая сумма собственных шумов приемника $N_{шум}$и мощности помехи $I_{ПОМ}$. На основе этого вычисляется $(E_b/N_0)_{прм+пом}$. Условием ЭМС является выполнение неравенства: $(E_b/N_0)_{прм+пом} \geq (E_b/N_0)_{треб.}$.

На основе полученных результатов делается вывод о том, что даже при незначительном угловом разносе мешающего и целевого КА (когда их сигналы попадают в главный лепесток диаграммы направленности антенны ЗС) уровень создаваемой помехи может быть критическим и привести к нарушению связи. Основным практическим выводом и рекомендацией является необходимость жесткого контроля за пространственным положением (углом места) и энергетическими параметрами (EIRP) мешающих КА. В частности, показано, что увеличение углового разноса между целевым и мешающим аппаратами всего на несколько градусов позволяет значительно снизить уровень помехи за счет падения коэффициента усиления антенны ЗС в направлении на мешающий источник и тем самым обеспечить выполнение критерия ЭМС.

Таким образом, разработанная методика является эффективным инструментом для количественного обоснования требований к координации спутниковых сетей и обеспечения их электромагнитной совместимости в условиях роста плотности освоения околоземного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитная совместимость систем спутниковой связи / Под ред. Л.Я. Кантора, В.В. Ноздрина. – М.: НИИР, 2009. – 280 с.

2. Методы расчета характеристик внутриобъектовой электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: учеб. пособие / В.Ю. Аронов и [др.]. – Самара: ПГУТИ, 2019. – 84 с.

ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIO-ELECTRONIC DEVICES LOCATED ON TARGET AND INTERFERING SPACECRAFT

[1,2]Borisov I.D., [1,3]Neshcheret A.M.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, [2]SRC Progress JSC, [3] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

This work is devoted to the assessment of the EMC of thermal power plants located on target and interfering spacecraft by using the methodology for calculating the energy balance of a radio link in satellite communication networks.

УДК 537.86 + 621.396.67 + 621.391.82

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПОДТВЕРЖДЕНИЕМ

[1,2]Гарипов А.И., [1,3]Нещерет А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «РКЦ «Прогресс», [3]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Актуальность проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) в изделиях ракетно-космической техники (РКТ) обусловлена увеличением количества радиолиний и антенных устройств, работающих в ограниченном пространстве космических аппаратов (КА). Жёсткие массогабаритные ограничения и требования к надёжности функционирования всех систем КА в условиях воздействия взаимных помех делают задачу расчёта и обеспечения пространственного затухания (развязки) между антеннами критически важной на этапах проектирования, изготовления и испытаний [1-4].

В работе предложена и реализована комплексная методика, объединяющая:

1. Теоретическое моделирование характеристик антенных устройств в широком частотном диапазоне (от $0{,}1f_0$до $10f_0$) с использованием методов электродинамического анализа (метод конечных элементов). Проведено моделирование диаграмм направленности, коэффициентов стоячей волны (S_{11}), параметров передачи (S_{21}) для различных типов антенн (патч-антенны, рупорные антенны) на рабочих и внеполосных частотах. Это позволило оценить уровень побочных излучений и восприимчивости антенн в условиях их близкого расположения.

2. Энергетический расчёт радиолиний с учётом всех факторов, влияющих на распространение сигнала и помех: мощности передатчиков, коэффициентов усиления антенн, потерь в антенно-фидерных устройствах (АФУ), потерь в свободном пространстве, коэффициента ослабления помех (КОП) приёмника. Особое внимание уделено анализу внеполосных излучений передатчиков и побочных каналов приёма приёмников, которые часто становятся основными источниками проблем ЭМС.

3. Экспериментальную верификацию теоретических расчётов на основе измерений параметров рассеяния (S-параметров) с использованием векторного анализатора цепей «Обзор 304/1». Разработана методика измерения развязки между антеннами, включающая процедуру калибровки оборудования для учёта систематических погрешностей и использования калибровочных мер (КЗ, ХХ, согласованная нагрузка).

В результате выполнения работы показано, что уровень помехового воздействия передатчиков (ТМС, БА ВРЛ, БА КИС) на приёмники (БСКВУ) не

превышает допустимых значений, что подтверждает выполнение требований ЭМС для рассматриваемой конфигурации изделия. Методика позволяет количественно оценить энергетический запас радиолинии и при необходимости предложить меры по его увеличению (например, введение дополнительной фильтрации, пространственное разнесение антенн, временное разделение работы РЭС).

Результаты проведенного исследования могут быть использованы на предприятиях космической отрасли и востребованы в процессе проектирования серийных и новых изделий. Предложенная методика позволяет повысить точность прогнозирования электромагнитной обстановки на борту с учетом конструкции объекта и расположения антенн. Это позволяет оптимизировать проведение испытаний благодаря сочетанию расчетных и экспериментальных подходов в условиях жестких массогабаритных ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и радиоконтроль. Методы оценки эффективности: монография / ред. Сай П.А. – М.: Радиотехника, 2015. – 400 с.

2. Электромагнитная совместимость и имитационное моделирование инфокоммуникационных систем / сборник научных трудов ПГАТИ под ред. О.Н. Маслова. – М.: Радио и связь, 2002. – 288 с.

3. Электромагнитная совместимость комплексов радиосредств компактных стационарных и подвижных объектов: монография / А.Л. Бузов. – М.: Радиотехника, 2022. – 165 с.

4. Методы расчета характеристик внутриобъектовой электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: учеб. пособие / В.Ю. Аронов и [др.]. – Самара: ПГУТИ, 2019. – 84 с.

THE COMPREHENSIVE TECHNIQUE FOR ASSESSING THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIOELECTRONIC DEVICES OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY WITH EXPERIMENTAL CONFIRMATION

[1,2]Garipov A.I., [1,3]Neshcheret A.M.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, [2]SRC Progress JSC, [3] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

The work is devoted to the development of a comprehensive methodology for assessing the electromagnetic compatibility of radio-electronic devices of rocket and space technology with experimental confirmation. The technique makes it possible to quantify the energy reserve of a radio link and, if necessary, propose measures to increase it.

УДК 537.86 + 621.396.67 + 621.391.82

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

[1,2]Гарипов А.И., [1,3]Нещерет А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «РКЦ «Прогресс», [3]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) в замкнутом пространстве изделий ракетно-космической техники (РКТ) является многопараметрической задачей [1]. Помимо прямого прохождения радиоволн, значительный вклад во взаимное влияние вносят вторичные факторы: переизлучение кабельных трасс, общие импедансные цепи, наводки по цепям питания, переотражения от неидеального корпуса. Отсутствие учета этих факторов на этапе эскизного проектирования приводит к дорогостоящим доработкам на этапе испытаний готового изделия [2].

Выполнен анализ обеспечения ЭМС РЭС на этапах разработки изделий РКТ [3]. Особое внимание уделено внутрисистемному обеспечению ЭМС при взаимовлиянии РЭС в системах ограниченного пространства поэтапному рассмотрению процессов обеспечения ЭМС на всех стадиях жизненного цикла изделия – от предпроектного анализа и формулирования требований до проведения испытаний. Проведен также анализ паразитных излучений передатчиков и побочных каналов приема приемника и взаимовлияние антенн в ближней зоне. Исследование охватывает природу нежелательных излучений передатчиков (гармоник, субгармоник и комбинационных составляющих), методики их анализа и оценки.

В результате был определен и систематизирован комплекс доминирующих факторов, влияющих на развязку между антеннами:

1. Спектральные факторы: Наличие внеполосных излучений передатчиков и побочных каналов приема делает критически важным анализ ЭМС не только на основных рабочих частотах, но и в десятикратно более широком диапазоне.

2. Пространственные факторы: Взаимная ориентация диаграмм направленности антенн в ближней зоне. Моделирование показало, что уровень боковых лепестков и заднего излучения даже у остронаправленных антенн может привести к значительной помехе при близком расположении.

3. Конструктивные факторы: Наличие общего «заземленного корпуса» является каналом связи через импедансные параметры (Z-параметры). Поле, наведенное на корпус одной антенной, может переизлучаться другой.

Был сформулирован комплекс мер снижения негативного воздействия указанных факторов, который может быть использован для при решении задач проектирования изделий РКТ:

На этапе проектирования (эскизный проект):

1. Обязательное проведение предварительного расчета ЭМС для всех пар «передатчик-приемник» с использованием предложенной методики.

2. Оптимизация частотного плана с учетом не только основных назначений, но и побочных излучений и каналов приема.

3. Выбор антенн с учетом не только коэффициента усиления в главном лепестке, но и уровня боковых лепестков и коэффициента стоячей волны (КСВ) во всем исследуемом диапазоне.

4. 3D-моделирование размещения антенных устройств на макете конструкции КА для оценки влияния корпуса.

На этапе испытаний (автономные испытания):

1. Внедрение обязательной процедуры измерения S- и Z-параметров между всеми антенными портами на опытном образце изделия.

2. Проведение измерений по разработанной методике с использованием калиброванного векторного анализатора цепей.

3. Сравнение полученных экспериментальных данных с результатами теоретического прогноза для валидации математических моделей.

Предложенный комплексный подход позволяет перейти от реактивного устранения проблем, связанных с ЭМС РЭС на поздних стадиях сборки, к их проактивному прогнозированию и предотвращению на этапе проектирования, что, в свою очередь, значительно снижает риски, сроки и стоимость создания конкурентоспособных изделий ракетно-космической техники, отвечающих всем требованиям надежности и электромагнитной совместимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Е. М. Виноградов. – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. – 197 с.

2. Методы расчета характеристик внутриобъектовой электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: учеб. пособие / В.Ю. Аронов и [др.]. – Самара: ПГУТИ, 2019. – 84 с.

3. Электромагнитная совместимость систем спутниковой связи / Под ред. Л.Я. Кантора, В.В. Ноздрина. – М.: НИИР, 2009. – 280 с.

KEY FACTORS OF MUTUAL INFLUENCE OF ANTENNA SYSTEMS IN CONDITIONS OF LIMITED SPACE OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY PRODUCTS

[1,2]Garipov A.I., [1,3]Neshcheret A.M.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, [2]SRC Progress JSC, [3] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

The paper defines and systematizes a set of key factors of mutual influence of antenna systems in conditions of limited space of rocket and space technology products. the proposed integrated approach will significantly reduce the risks, time and cost of creating competitive rocket and space technology products that meet all the requirements of reliability and electromagnetic compatibility.

УДК 537.86 + 621.396.67

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПО МИКРОПОЛОСКОВОЙ РАМОЧНОЙ СТРУКТУРЕ С БИИЗОТРОПНОЙ КИРАЛЬНОЙ ПОДЛОЖКОЙ

[1]Герасимов А.С., [1]Клюев Д.С., [1,2]Коршунов С.А., [1,2]Нещерет А.М.
([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Настоящая работа посвящена разработке метода определения функции распределения плотности тока по микрополосковой рамочной структуре с биизотропной киральной подложкой, вид которой приведен на рис. 1.

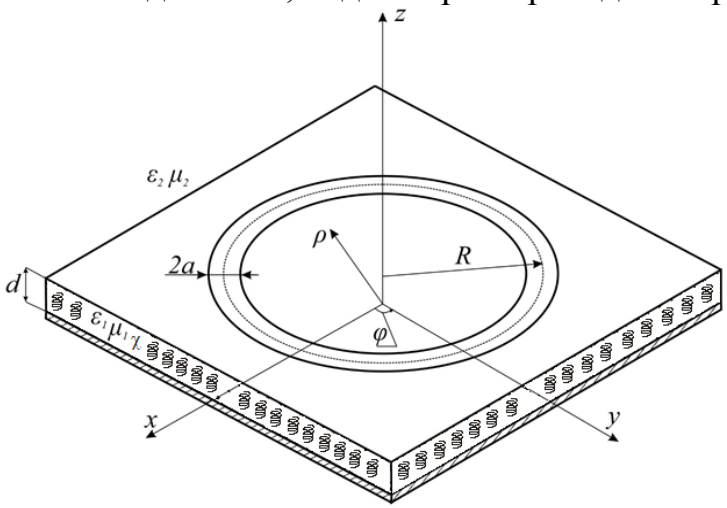


Рис. 1. Микрополосковая рамочная структура с биизотропной киральной подложкой

В последние годы наблюдается значительный всплеск интереса к микрополосковым рамочным структурам, интегрированным с биизотропными киральными подложками. Этот интерес обусловлен перспективными возможностями их использования в качестве фундаментальных блоков для создания двухкомпонентных метаматериалов, функционирующих в широком диапазоне частот. Ключевым элементом подобного метаматериала является биизотропный киральный слой, металлизированный с одной стороны. На этом слое размещается рамочный излучающий элемент, представляющий собой кольцевой резонатор, обладающий некоторым разрывом. Ансамбль таких элементов служит для формирования многослойных метаматериалов (или метаповерхностей) с широким спектром применений, включая разработку радиочастотных отражающих и поглощающих покрытий нового поколения. Более того, такие метаматериалы потенциально могут использоваться для улучшения функциональных характеристик антенно-фидерных систем, экранирующих и поглощающих элементов и других радиочастотных и оптических устройств, работающих в различных частотных диапазонах [1,2].

Таким образом, первостепенной становится задача с высокой точностью определить электромагнитные параметры представленной рамочной структуры,

расположенной на подложке из биизотропного кирального метаматериала. Принимая во внимание резонансное поведение структуры, обладающей набором резонансных частот, стандартные методы прямого электродинамического моделирования, реализованные в коммерческом программном обеспечении, могут оказаться недостаточно адекватными для достижения требуемого уровня точности.

Для решения этой задачи была определена матрица поверхностных импедансов, характеризующая границу раздела между биизотропным киральным слоем и диэлектрическим полупространством. Эта матрица устанавливает взаимосвязь между Фурье-образами электрического поля и Фурье-образами поверхностной плотности тока [3].

В рамках модели квазистатического приближения, с целью аппроксимации поперечного распределения продольной компоненты плотности тока, были получены аналитические выражения для электрического поля в виде интегральных представлений. На основе соответствующих граничных условий, сформулированных для границы раздела между металлизированной биизотропной киральной средой и диэлектрическим полупространством, разработаны интегральные уравнения, позволяющие определить функцию распределения поверхностной плотности тока на излучающем элементе рамочной структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нещерет А.М. Метод моделирования конформных излучающих структур с киральным заполнением // Антенны. 2024. № 1 (287). С. 76-87.

2. Бузов А.Л., Вдовченко Е.С., Минкин М.А., Морозов Д.В., Нещерет А.М. Перспективы использования конформных структур и метаповерхностей в антенных системах мобильных объектов // Инфокоммуникационные технологии. 2024. Том 22, № 4 (88). С. 31–36.

3. Борисов И.Д., Гарипов А.И., Клюев Д.С., Лунин М.А., Нещерет А.М. Матрица поверхностных импедансов микрополосковой рамочной излучающей структуры с подложкой из кирального метаматериала // Физика и технические приложения волновых процессов: материалы XXI Международной научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2024. С. 129-130.

CURRENT DENSITY DISTRIBUTION FUNCTION OVER A MICROSTRIP FRAME STRUCTURE WITH A BISOTROPIC CHIRAL SUBSTRATE

[1]Gerasimov A.S., [1]Klyuev D.S., [1,2]Korshunov S.A., [1,2]Neshcheret A.M.
([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[2] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

This work is devoted to the development of a method for determining the current density distribution function over a microstrip frame structure with a bisotropic chiral substrate.

УДК 537.86 + 621.396.67

ПЛАНАРНЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ РАЗОМКНУТЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ С БИИЗОТРОПНОЙ КИРАЛЬНОЙ ПОДЛОЖКОЙ

[1]Герасимов А.С., [1,2]Нещерет А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Настоящая работа посвящена разработке математической модели планарного метаматериала на основе разомкнутых кольцевых резонаторов с биизотропной киральной подложкой, внешний вид которого приведен на рис. 1.

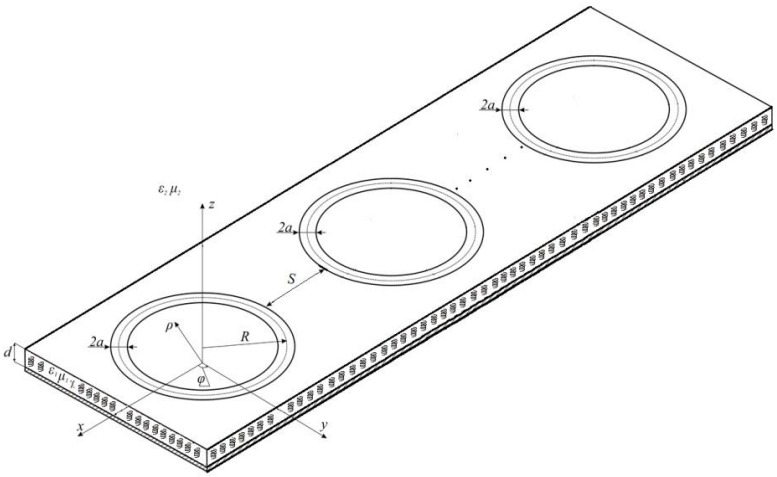


Рис. 1. Планарный метаматериал на основе разомкнутых кольцевых резонаторов с биизотропной киральной подложкой

Сегодня особенно остро стоит вопрос уменьшения радиолокационного обнаружения разнообразных перемещающихся объектов, будь то наземный транспорт, летательные аппараты или морские/речные суда.

Для снижения заметности объекта для радаров используют два основных подхода: поглощение электромагнитных волн или изменение траектории их переотражения от поверхности. Еще один способ заключается в организации многократных отражений волны внутри специального покрытия с поглощающими свойствами, что приводит к её затуханию. Этот подход считается многообещающим для разработки эффективных радиопоглощающих материалов, но требует применения передовых производственных технологий.

Сейчас активно исследуются радиопоглощающие материалы, основанные на киральных структурах [1]. Эти исследования направлены на изучение дифракционных эффектов электромагнитных волн на подобных киральных объектах. При этом, стоит подчеркнуть, что опубликованные научные работы рассматривают исключительно неоднородные киральные структуры, состоящие из одного компонента.

В настоящее время повышенный интерес вызывает изучение двухслойной структуры включающей в себя металлизированную биизотропную киральную

среду с кольцевыми резонаторами, расположенными на её поверхности. Применение металлизированного слоя обусловлено тем, что большинство движущихся объектов производятся из материалов с высокой электропроводностью.

В данном случае киральная среда состоит из случайно расположенных в диэлектрической среде проводящих элементов, имеющих зеркально-асимметричную форму.

Для анализа планарного метаматериала, состоящего из кольцевых элементов, была разработана система интегральных уравнений на основе метода спектральных областей. При построении модели учтены дисперсионные свойства входящих в структуру материалов, опирающиеся на данные, представленные в [2]. Ключевым элементом подхода является использование ранее разработанной [3] матрицы поверхностных импедансов. Эта матрица позволила учесть влияние киральной подложки на распределение токов в кольцевых элементах, что необходимо для точного определения их электромагнитных характеристик.

Применение разработанной математической модели планарного метаматериала на основе разомкнутых кольцевых резонаторов с биизотропной киральной подложкой, основанной на системе интегральных уравнений, позволит точно решать задачи излучения и дифракции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Я.М., Панин Д.Н. Исследование отражений волн терагерцевого диапазона от неоднородного планарного слоя кирального метаматериала с учетом частотной дисперсии // Радиотехника. 2023. Т. 87. № 6. С. 109-114.

2. Buzov A. L., Buzova M. A., Klyuev D. S., Neshcheret A.M., Sokolova Yu. V. Mathematical Model of Conformal Radiating Structures with Chiral Filling Based on Spiral Elements Taking into Account the Macroscopic Parameters Frequency Dispersion // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2023, Vol. 44, No. 9, pp. 4009–4015.

3. Борисов И.Д., Гарипов А.И., Клюев Д.С., Лунин М.А., Нещерет А.М. Матрица поверхностных импедансов микрополосковой рамочной излучающей структуры с подложкой из кирального метаматериала // Материалы XXI Международной научно технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». – Самара: ПГУТИ, 2024. С. 129-130.

PLANAR METAMATERIAL BASED ON OPEN-LOOP RESONATORS WITH A BISOTROPIC CHIRAL SUBSTRATE

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
[2] Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

The present work is devoted to the development of a mathematical model of a planar metamaterial based on open-loop resonators with a bisotropic chiral substrate.

УДК 621.398

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ОТ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПРИЁМА

Колягин И.К., Хайруллин М.А.

(АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

При построении сложноорганизованных телекоммуникационных систем возникает востребованность в универсальной архитектуре системы сбора данных[6] от удалённых радиоэлектронных средств, которая позволяет работать с трафиком и минимизирует задержку приема данных. Основными требованиями к системе сбора данных необходимо отнести следующие качества: детерминированность, стабильность канала, высокая скорость реакции на отклонения показаний [2]. В рамках работы была спроектирована и разработана архитектура системы сбора данных, ориентированная на снижение латентности на всех этапах – от сбора данных до отображения состояний объектов на глобальной карте местности [9].

Особенностью архитектуры является Prometheus, работающий на базе pull-модели опроса, что позволяет контролировать и управлять задержками [7]. Для преобразования данных, поступающих с различных устройств, используются специальные конверторы. Они разворачиваются на шлюзах или узлах сети и преобразуют байт-код отдельных устройств в числовые параметры [1, 3]. Конвертор агрегирует показания, а также буферизует и предоставляет их через стандартный HTTP-эндпойнт /metrics, снижая нагрузку на устройства и частоту сетевых запросов [5]. Управление метаданными – объектами, устройствами связи, датчиками и пороговыми значениями – реализовано через FastAPI-бекенд с использованием MySQL, что обеспечивает надёжность, масштабируемость и совместимость с промышленными стандартами хранения конфигурации [10].

Ключевыми решениями для минимизации задержки являются: отказ от промежуточных брокеров сообщений, использование pull-модели, а также локальная агрегация данных и оптимизация интервала скрапинга [2, 8]. Вся система реализована на Python, что позволяет достаточно оперативно развертывать данную систему на любой операционной системе. Данная архитектура применима для мониторинга проводных сенсорных сетей, контроллеров, терминал5ов передачи данных и систем телемеханики [4, 10].

Использование реляционной базы данных (MySQL) гарантирует надежное хранение метаданных, а полностью внутренняя система визуального алертинга исключает любую зависимость от сторонних сервисов, повышая безопасность и автономность [10]. Предложенная архитектура демонстрирует высокую производительность, детерминированность и адаптивность, что делает её перспективной для внедрения в современные сложноорганизованные телекоммуникационные системы, где критичны минимальная задержка,

наглядность и полный контроль над цепочкой обработки данных на всех уровнях [2, 9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С.А. Математические методы обработки данных // М.: Наука, 2001. 312 с.

2. Белов А.В. Алгоритмы минимизации задержек в распределенных системах // Информационные технологии. 2018. № 3. С. 25-30.

3. Васильев, И. П. Сети связи и системы коммутации : учебник для вузов / М. : Горячая линия-Телеком, 2007. — 488 с.

4. Глушков В.М. Теория цифровых автоматов // М.: Физматлит, 1962. 368 с.

5. Ефимов Н.В. Методы повышения эффективности сбора данных в беспроводных сетях // Вестник МГТУ. 2019. № 4. С. 45-52.

6. Зайцев Д.А. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем // Киев: ВЕК+, 2000. 608 с.

7. Иванов С.И. Протоколы обмена данными для распределенных систем // Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. 384 с.

8. Коваль В.В. Анализ задержек в системах передачи данных // Телекоммуникации. 2020. № 1. С. 15-20.

9. Кузнецов А.П. Оптимизация алгоритмов сбора данных в реальном времени // Автоматика и телемеханика. 2017. № 6. С. 60-68.

10. Андреев В.П. Системы сбора и обработки данных : учебное пособие / В.П. Андреев, П.А. Иванов // Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2010. - 84 с.

ARCHITECTURE OF A SYSTEM FOR COLLECTING DATA FROM DISTRIBUTED RADIOELECTRONIC EQUIPMENT WITH MINIMIZATION OF RECEPTION DELAY

Kolyagin I.K., Khairullin M.A.

(Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems", Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics,)

The design and construction of complex telecommunications systems require special attention to reducing latency when collecting data from system elements. The development of a high-performance, adaptable architecture for collecting data from distributed electronic equipment reduces the operator's response and decision-making time in the event of an emergency.

УДК 004.733

ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

[1]Вишняков М.Г., [1]Морозов К.Ю., [1,2]Носов Н.А.

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Обработка изображений, пространственное распознавание окружающей среды, вычислительные услуги и проблемы массовой передачи данных с доступом к ЦОД требуют высокопроизводительных вычислительных ресурсов, средств и методов доступа к этим ресурсам. Немаловажную роль в этом процессе играют средства доступа к этим ресурсам и в первую очередь беспроводные сети. В настоящее время проработаны различные технологии повышения производительности беспроводных сетей. В докладе рассматриваются технологии MIMO, RIS и MEC.

Технология MIMO обеспечивает централизованный доступ к данным на основе пространственного кодирования сигнала, когда передача и прием данных осуществляются системами из нескольких антенн. Главный принцип работы технологии MIMO – распределение одного потока данных между несколькими антеннами. Это позволяет параллельно передавать данные по нескольким потокам, что значительно увеличивает скорость и качество передаваемого сигнала. Итоговая пропускная способность зависит от типа антенной сборки.

RIS – это программируемая поверхностная структура, используемая для управления отражением, преломлением, фокусировкой, коллимацией, модуляцией, поглощением электромагнитных волн путем изменения электрических и магнитных свойств поверхности. Многоэлементная RIS создает радиолучи для фокусировки сигнала в заданных направлениях. Отражающие элементы RIS посылают один и тот же сигнал с одинаковой длиной волны, поэтому сформированный радиолуч имеет повышенную мощность сигнала в заданном направлении, т.е. RIS решает те же проблемы, что и MIMO по повышению эффективности сетей доступа, но с малыми энергетическими ресурсами и материальными затратами.

Особенности RIS:

- является поверхностью (не объемным материалом) с низкой сложностью реализации, потерями и т. д., сохраняющей при этом возможность полностью контролировать электромагнитные волны;
- является инженерной (или интеллектуальной) поверхностью, т.е. может реализовывать функции, которые не инженерная поверхность (например, металлическая пластина) не может реализовать;
- содержит функции реконфигурации, т. е. RIS может адаптироваться в зависимости от условий радиосети;
- обеспечивает контролируемое отражение, преломление, рассеяние, модуляцию и т. д. электромагнитных волн.

Варианты развертывания RIS определяются требуемым режимом работы и конкретным применением.

По конструктивным особенностям RIS подразделяют:

- на отражающие, способные изменять угол отражения падающей волны;
- преломляющие, способные изменять угол преломления (пропускания) падающей волны;
- совмещенные отражающие и преломляющие, способные одновременно изменять угол отражения и преломления падающей волны;
- передающие или информационные, способные кодировать данные и реализовывать одночастотные (однопоточные или многопоточные) радиосети;
- поглощающие, настроенные на минимизацию рассеянного поля.

Граничные вычисления с множественным доступом (MEC) имеют своей целью приблизить вычислительные ресурсы из ЦОД на периферию, в непосредственную близость к месту их первичной обработки перед передачей вышестоящему вычислительному узлу. Таким образом, сбор и анализ данных проводится не в централизованной вычислительной среде (ЦОД), а там, где происходит генерация потоков данных.

Чем дальше пользовательское (абонентское) оборудование находится от источника обработки, мест анализа и хранения данных, тем больше временная задержка доступа. В этих условиях предъявляются ряд требований к вычислительным ресурсам, хранилищам и сетевым ресурсам, с возможностью оперативного изменения месторасположения серверов MEC и приложений в сетевой архитектуре и обеспечения в разных точках сети необходимых объемов потоков трафика пользователей. Эти условия выполняются запуском в нужном месте и в нужный момент выбранных мобильных приложений MEC и их перемещений по мере изменений условий сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые технологии в системах мобильной радиосвязи / Шлома А.М. [и др.]. М.: Инсвязьиздат, 2005. 455 с.

2. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шумов А.П. Повышение скорости передачи информации и спектральной эффективности беспроводных систем связи // Цифровая обработка связи. 2006. № 1, С. 2—12.

3. Слюсар В.И. Системы MIMO: принципы построения и обработка сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2005. № 8. С. 52—58.

WIRELESS NETWORK PERFORMANCE IMPROVEMENT TECHNOLOGIES

[1]Vishniakov M.G., [1]Morozov K.Y., [1,2]Nosov N.A.

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems";
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

The report examines various technologies for improving the performance of wireless networks and their key features.

УДК 621.396.67:621.396.96

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ В ИСПЫТАНИЯХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

[1,2]Кузьменко А.А., [1]Макарихин А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]Самарский государственный технический университет)

Характеристики радиолокационной станции (РЛС) напрямую определяются параметрами её антенной системы. Прогресс в радиолокации и переход к сложным системам, таким как активные (АФАР) и цифровые (ЦАР) антенные решётки, ставят новые задачи по контролю их характеристик. Традиционные методики испытаний при этом часто оказываются недостаточными или экономически невыгодными, что стимулирует поиск новых подходов.

Традиционные методы испытаний и их ограничения

Классические испытания антенн проводятся в дальней зоне, где фронт волны можно считать плоским. Для этого используются два основных метода:

1. **Открытые измерительные площадки (полигоны).** Этот метод незаменим при работе с крупногабаритными антеннами в реальных условиях. Однако к его недостаткам относят высокую стоимость создания и эксплуатации, зависимость от метеоусловий, а также трудности в обеспечении «чистой» электромагнитной обстановки, свободной от посторонних отражений и помех.
2. **Безэховые камеры (БЭК).** БЭК представляет собой экранированное помещение с радиопоглощающим покрытием, имитирующее условия свободного пространства. Данный метод гарантирует высокую стабильность и повторяемость результатов измерений. Ключевым ограничением метода является физический размер камеры. Условие дальней зоны:

$$R > \frac{2 \cdot D^2}{\lambda}, \qquad (1)$$

где D – размер апертуры антенны, а λ – длина волны, накладывает жёсткие требования на габариты БЭК. Для низкочастотных и/или крупногабаритных антенн требуются камеры объёмом в тысячи кубических метров, постройка которых сопряжена с колоссальными затратами [1].

Для современных многоэлементных систем, таких как АФАР, ля современных АФАР эти методы не только затратны, но и не позволяют полноценно оценить их адаптивные алгоритмы.

Современные подходы к испытаниям антенных систем

В ответ на ограничения традиционных методов были разработаны новые подходы, позволяющие проводить комплексные испытания.

1. **Измерения в ближней зоне (Near-Field Measurements).** Метод основан на сканировании поля вблизи апертуры антенны с последующим математическим пересчётом (через преобразование Фурье) в

характеристики дальней зоны. Это позволяет с высокой точностью измерять параметры больших антенн в компактных лабораториях [2], но требует прецизионной механики и значительных вычислений.

2. **Компактные полигоны (CATR).** В CATR используется коллиматорное зеркало для формирования плоской волны в измерительной зоне, что имитирует условия дальней зоны на малом расстоянии. Метод эффективен для антенн СВЧ-диапазона, но также требует значительных капиталовложений.
3. **Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).** Использование БПЛА стало прорывным решением для полевых испытаний. Дрон с измерительным зондом и высокоточной навигацией (RTK) облетает антенну, проводя измерения, что незаменимо для стационарных или установленных на объектах систем [1,2]. Ключевыми задачами остаются обеспечение точности позиционирования и синхронизации данных.
4. **Программно-определяемые системы (SDR).** Для проверки сложных алгоритмов управления лучом и адаптации в ЦАР и АФАР применяются SDR-платформы. Они позволяют имитировать сложную динамическую сигнальную обстановку (множество целей, помех), тестируя работу антенны в условиях, близких к реальным.

Развитие антенных систем для РЛС требует адекватного совершенствования методик их испытаний. Традиционные подходы уступают место новым технологиям: измерениям в ближней зоне, использованию БПЛА и SDR-платформ, которые обеспечивают более полный и точный анализ характеристик современных антенн. Перспективным видится создание гибридных методик, сочетающих лабораторную точность и натурные испытания. Дальнейший прогресс в этой области будет связан с развитием робототехники и методов обработки больших данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антенны и устройства СВЧ / Д.И. Воскресенский и [др.]. – М.: Радиотехника, 2006. – 376 с.

2. Spherical Near-Field Antenna Measurements / J. E. Hansen. – London: Peter Peregrinus Ltd., 1988. – 392 p.

MODERN APPROACHES AND CHALLENGES IN TESTING ANTENNA SYSTEMS FOR RADAR COMPLEXES

[1,2]Kuzmenko A.A., [1]Makarikhin A.M.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [2]Samara State Technical University)

This article reviews the limitations of traditional testing methods for radar antennas when applied to complex systems like active phased arrays. Key modern approaches are analyzed, including near-field measurements, UAV-based testing, and the use of software-defined radio to verify advanced system performance.

УДК 621.396.676

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ

[1,2]Коршунов С.А., [1]Красильников А.Д.

([1]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Малогабаритные штыревые антенны пользуются большой популярностью в самых различных сферах применения. При необходимости сверхширокополосной работы в штыревых антеннах применяются трансформаторы на ферритовых сердечниках, однако в таком случае поднимается вопрос о существенном ограничении подводимой мощности и диссипативных потерях. Для достижения более высокой эффективности штыревых антенн для согласования с фидером могут применяться четвертьволновые противовесы [1] на внешнем проводнике коаксиального кабеля, что исключает диссипативные потери на согласовании и снимает жесткие ограничения по подводимой мощности, однако такое решение является более узкополосным, а противовесы могут заметно увеличивать габариты.

На рисунке 1 показана схема рассматриваемой антенны.

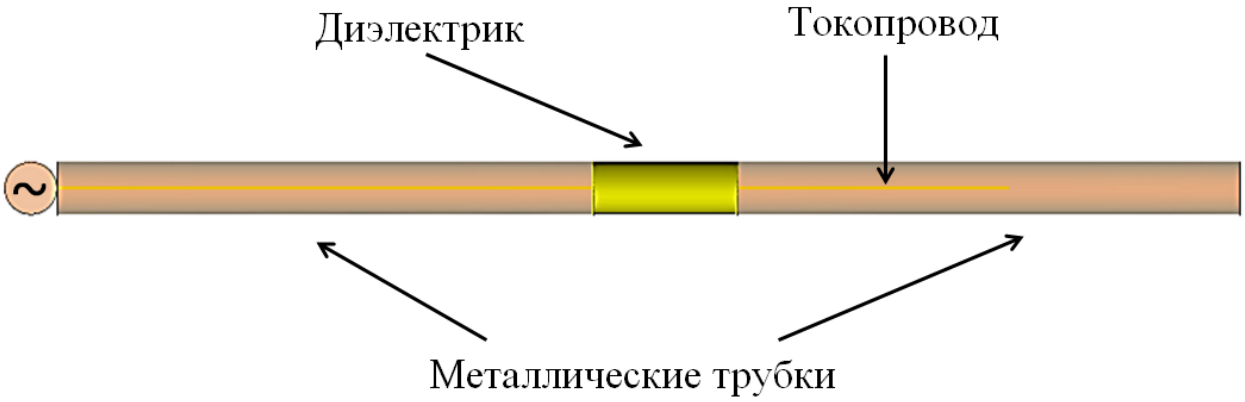


Рис. 1. Схема антенны

На рисунке 2 представлены значения измеренного КСВН для предлагаемой антенны и для четвертьволновой штыревой антенны с противовесами, выполненной для центральной частоты 750 МГц, а на рисунке 3 значения измерений уровня принятого ими сигнала от испытательной антенны в равных условиях. Ориентировочные габаритные размеры несимметричного вибратора 140x140x170 мм, предлагаемой антенны 20x20x220 мм. По результатам рассмотрения рисунков можно сделать вывод, что данная антенна имеет согласование с фидером с двукратным перекрытием по частоте, а также является более эффективной по сравнению с классическим несимметричным вибратором с противовесами.

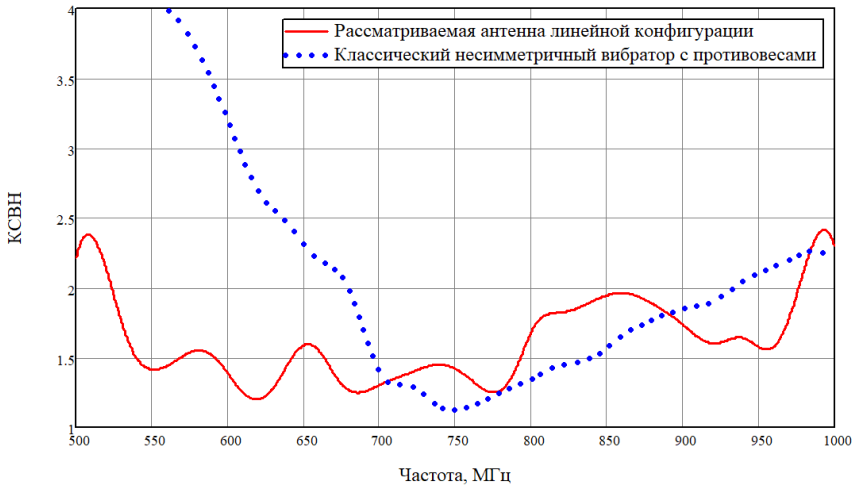


Рис.2. Измеренные значения КСВН

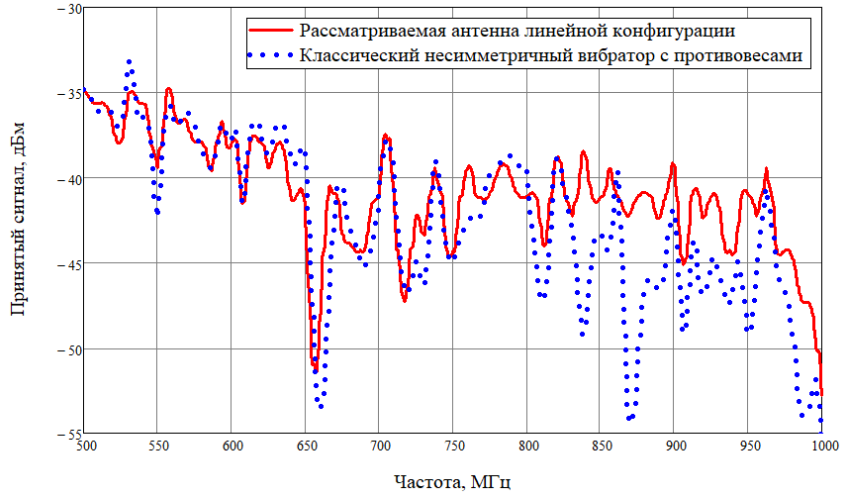


Рис.3. Уровни принятых сигналов, синим дана рассматриваемая антенна, желтым классический несимметричный вибратор с противовесами

В работе рассмотрены особенности реализации конструкции штыревой антенны в линейной конфигурации излучателя, позволяющей получить широкополосное согласование с фидером без диссипативных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антенны и устройства СВЧ: учебник для радиотехнических специальностей вузов / Д. М. Сазонов. — М.: Высшая школа, 1988. — 432 с.

SMALL-SIZE BROADBAND LINEAR RADIATOR

[1,2]Korshunov S.A., [1]Krasilnikov A.D.

([1]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems",
[2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The work describes the design features of a whip antenna in a linear radiator configuration, which allows for broadband matching with a feeder without dissipative elements.

УДК 621.396.67

ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА СКРУГЛЕННОМ РАМОЧНОМ ПРОВОДНИКЕ С РАЗРЫВОМ

Коршунов С.А.

(АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Рассматриваемая структура (рис. 1) представляет собой идеально проводящую плоскую круглую рамку с радиусом R и шириной 2a, имеющую зазор с угловой длиной 2Δ. Рамка расположена на бесконечной диэлектрической пластине толщиной d с относительной диэлектрической проницаемостью ε_1 и относительной магнитной проницаемостью μ_1. Нижняя сторона пластины металлизирована. Область пространства z > d представляет собой диэлектрическую среду с пара–метрами ε_2 и μ_2. Ранее для данной структуры была разработана математическая модель на основе интегральных уравнений [1], получены аналитические выражения для электромагнитного поля [2], а также представлены результаты численного моделирования, демонстрирующие распределение тока, индуцированного в рамке при облучении плоской электромагнитной волной.

Нормированные диаграммы рассеяния электрического поля в вертикальной плоскости приведены ниже на рис. 2 и 3.

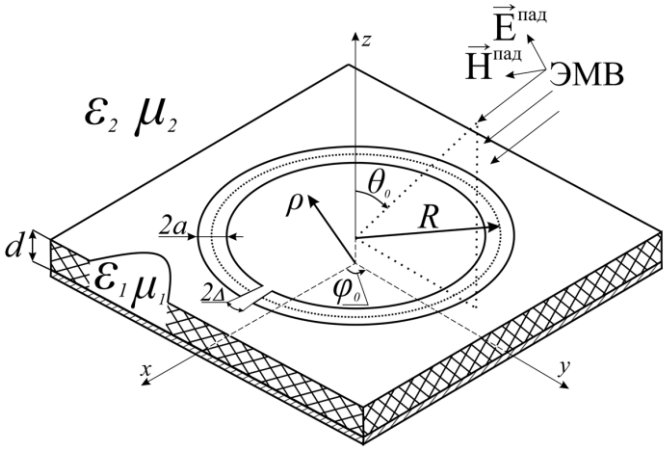
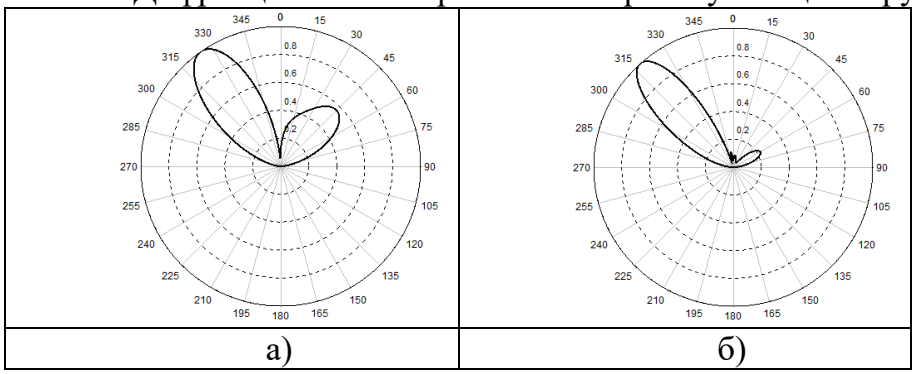


Рис. 1. Дифракция ЭМВ на рамочной переизлучающей структре



а) б)

Рис. 2. Нормированные диаграммы рассеяния электрического поля в вертикальной плоскости при $\varepsilon_1=1$

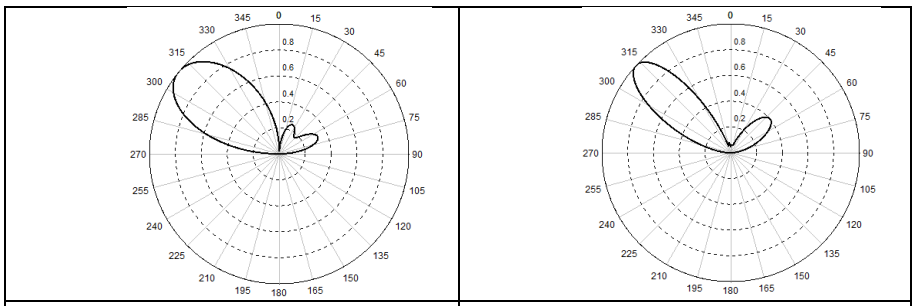


Рис.3. Нормированные диаграммы рассеяния электрического поля в вертикальной плоскости при $\varepsilon_1=3$

Рассмотрены угловые зависимости нормированного электрического поля, рассеянного кольцевыми излучателями с $kR=0,5$ (а) и $kR=1$ (б), характеризующимися параметрами $\mu_1=\mu_2=0$, $\varepsilon_2=1$, $2a=0,05\lambda$, $d=0,25\lambda$. Анализ проводился при угле падения электромагнитной волны $\theta 0=\pi/2$ и значениях диэлектрической проницаемости подложки $\varepsilon_1=1$ (рис. 2) и $\varepsilon_1=3$ (рис. 3).

Установлено, что при наклонном падении волны происходит перераспределение энергии, приводящее к обратному рассеянию в направлении источника, что обусловлено векторным характером электромагнитного поля. Удлинение рамочной структуры вызывает возникновение новых интерференционных максимумов в распределении поля, что интерпретируется как увеличение эффективной электрической длины излучателя. Увеличение диэлектрической проницаемости подложки приводит к концентрации энергии в главном лепестке отраженного поля, в то время как обратное отражение проявляет неустойчивость и может характеризоваться раздвоением или усилением сигнала. Обнаружена высокая чувствительность углового распределения электрического поля к углу падения электромагнитного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршунов С.А. Математическая модель рамочного излучателя, расположенного на металлизированной диэлектрической подложке / Радиотехника. 2021. Т. 85. № 7. С. 35-40.

2. Коршунов С.А. Дифракция электромагнитной волны на микрополосковой антенне с рамочным излучателем / Радиотехника. 2022. Т. 86. № 6. С. 23-29.

DIFFRACTION OF AN ELECTROMAGNETIC WAVE BY A ROUNDED FRAME CONDUCTOR WITH A GAP

Korshunov S.A.

(Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems", Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The work describes diagrams and analysis of angular distribution of electric field strength of the reflected wave for various characteristics of the structure.

УДК 621.396.67

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ В СОВРЕМЕННОЙ АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Коршунов С.А.

(АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем», Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современная антенная техника должна отвечать сразу нескольким важным требованиям. К их числу относятся широкая полоса рабочих частот с возможным перекрытием более чем в двадцать раз, а также максимально допустимая подводимая мощность, достигающая сотен ватт. Кроме того, она должна быть способна выдерживать разнообразные механические и климатические испытания [1, 2].

Важными составляющими схемотехнических решений таких антенн являются дроссели и согласующие и симметрирующие трансформаторы, выполняемые на ферритовых сердечниках. Намотка на сердечнике позволяет добиться высоких значений индуктивности при небольших габаритах катушки, что значительно снижает нижнюю границу рабочей полосы частот антенны. Однако при использовании ферритовых сердечников в антенной технике нужно учитывать ряд их особенностей. Сердечники с высокой начальной магнитной проницаемостью вносят значительные диссипативные потери при использовании в диапазоне СВЧ. Также, различные материалы сердечников могут иметь невысокую верхнюю границу рабочей температуры, пересекая которую феррит теряет свои свойства, что имеет значение при работе антенны на высокой мощности [3]. К тому же, на изменение свойств ферритового сердечника может повлиять механический удар, который не привел к его физическому разрушению. С учетом этого подбор нужной марки материала и типоразмера ферритовых сердечников в антенной технике может быть осложнен большим количеством факторов вытекающих из предъявляемых технических требований к антенне.

В связи с этим в настоящее время существует потребность в методиках разработки согласующих устройств антенн, учитывающих как их технические требования, так и возможные особенности ферритов. В докладе приводится обзор работ на данную тему, среди которых [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Красильников А.Д., Копылов Д.А., Коршунов С.А. Широкополосная антенна с реактивными элементами для подвижных объектов // Радиотехника. 2025. Т. 89. № 6. С. 147-152. DOI: https://doi.org/10.18127/j00338486-202506-15

2. Колояров, И.А. Сверхширокополосная антенна для подвижных объектов / С.А. Коршунов, А.Д. Красильников, В.А. Кураков, М.А. Хайруллин // Материалы XXXII Российской научно-технической конференции «Актуальные

проблемы информатики, радиотехники и связи». — Самара. — 2025.— С. 222 224.

3. Смит, Я. Ферриты / Я. Смит, Х. Вейн ; ред. Ю. П. Ирхин, И. Е. Старцева ; пер. Т. А. Елкина, В. А. Залесский [и др.]. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1962. – 501 с.

4. Дмитриков В.Ф., Шушпанов Д.В. Эквивалентная схема замещения дросселя, намотанного на феррите, в широком диапазоне частот (0 Гц – 500 МГц) // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. - 2021. - Т. 24. - №4. - С. 25-45. doi: 10.18469/1810-3189.2021.24.4.25-45

APPLICATION OF FERRITE CORES IN MODERN ANTENNA TECHNOLOGY

Korshunov S.A.

(Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems", Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper describes the application of ferrite cores in high-power broadband antenna technology.

УДК 537.867

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ППФ НА ЗАПРЕДЕЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

[1,2] Кузьменко А.А,.[1]Солдатов А.А.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [2]Самарский государственный технический университет)

Волноводные СВЧ-фильтры традиционно считаются более надежными и производительными по сравнению с полосковыми аналогами, особенно в приложениях, требующих высокой мощности и строгих электрических характеристик. Главные преимущества волноводных фильтров заключаются в улучшенных электрических характеристиках, обусловленных более высокой добротностью резонаторов и меньшими потерями, а также в возможности пропускать большие СВЧ-мощности благодаря большей площади поперечного сечения и лучшей теплоотдаче.

Несмотря на очевидные достоинства волноводных решений, их габариты часто являются ограничивающим фактором. В этой связи, применение в СВЧ-элементах запредельных волноводов, работающих на частотах ниже частоты отсечки, представляет собой перспективный подход, позволяющий в несколько раз уменьшить габариты СВЧ-устройств. Это достигается за счет использования искусственно созданных структур с замедленной волной. При этом, уменьшение габаритов часто сопровождается и уменьшением стоимости, благодаря упрощению конструкции и уменьшению расхода материалов.

В рамках данной работы предпринята попытка оптимизировать конструкцию и параметры полосно-пропускающего фильтра (ППФ) на запредельном волноводе с целью достижения высоких характеристик в заданном диапазоне частот. Представлены результаты теоретического анализа, численного моделирования и сравнительный анализ с существующими решениями.

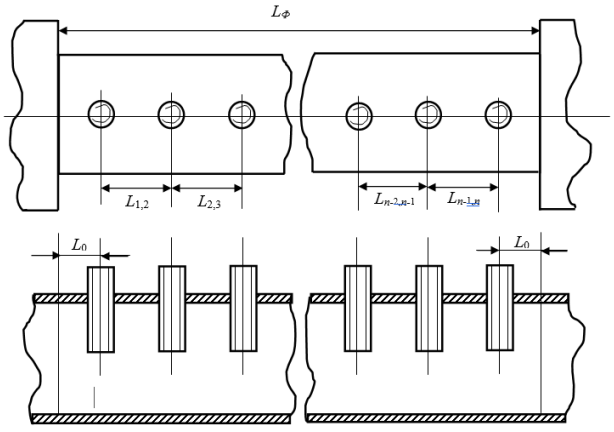


Рис. 1. ППФ на запредельном волноводе

Формулы для расчета ППФ приведены в работе [1] Расчет топологии фильтра был проведен в программе Maxima. Причем программа была составлена

таким образом, чтобы использовать для расчета ППФ при любых исходных данных.

Рассчитанный фильтр был промоделирован в среде Microwave Sбtudio. Результаты проектирования приведены ниже.

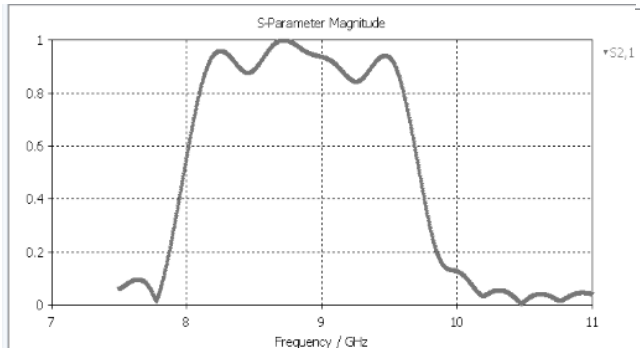


Рис. 2. Коэффициент передачи ППФ на запредельном волноводе

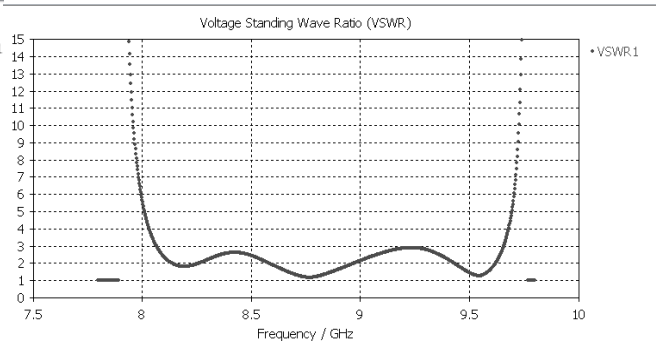


Рис. 3. КСВ ППФ на запредельном волноводе

Результаты моделирования близко совпадают с экспериментальными. Это позволяет спроектировать ППФ до его изготовления, что ускоряет время разработки и позволяет экономить материалы.

Результаты проведенного проектирования, по выше названным причинам, можно применять при инженерных расчетах и проектировании ППФ на запредельных волноводах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Яровой Г.П. Теория и применение устройств СВЧ // М.: Радио и связь, 2006. 719 с.

ESIGNING A BPF BASED ON A BEAM-CUTTING WAVEGUIDE

[1,2]Kuzmenko A.A., [1] Soldatov A.A.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [2]Samara State Technical University)

This paper examines a beam-cutting waveguide-based BPF. The filter topology was calculated, and the calculated filter was then designed using Microwave Studio.

The simulation results closely match the experimental data. This allows for the BPF to be designed prior to fabrication, which accelerates development time and saves materials.

For the reasons stated above, the design results can be applied in engineering calculations and the design of beam-cutting waveguide-based BPFs.

УДК 537.867

ЛАБОРАТОРНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Солдатов А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Определение диэлектрической проницаемости материалов с высокой точностью представляет собой нетривиальную задачу, требующую применения специализированных методик и оборудования. Трудности обусловлены необходимостью минимизации влияния паразитных параметров, обеспечением стабильности измерений и точной калибровкой измерительной аппаратуры. В связи с этим, разработка новых, более эффективных и надежных методов измерения диэлектрической проницаемости остается актуальной научно-технической задачей.

В предлагаемой работе представлен оригинальный подход к определению диэлектрической проницаемости диэлектрических материалов, основанный на анализе резонансных характеристик полоскового кольцевого резонатора. Предложенный метод использует явление сдвига резонансной частоты резонатора, реализованного на несимметричной полосковой линии (НПЛ), при внесении в его электромагнитное поле образца исследуемого материала. В отличие от традиционных подходов, метод позволяет проводить измерения с высокой чувствительностью и относительно простой аппаратурной реализацией.

Экспериментальная установка, предназначенная для реализации предложенного метода, схематично представлена на рисунке 1. Установка включает в себя полосковой кольцевой резонатор, выполненный на НПЛ, прецизионный анализатор цепей для измерения S-параметров, а также систему позиционирования образца, обеспечивающую точное размещение исследуемого материала в области максимальной чувствительности резонатора.

Неизвестная диэлектрическая проницаемость вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_x = (K\varepsilon_r + 1)\left(f_{p0}/f_{p1}\right)^2 - K\varepsilon_r, \quad (1)$$

где f_{p0}/f_{p1} – отношение резонансной частоты устройства без образца к резонансной частоте с образцом.

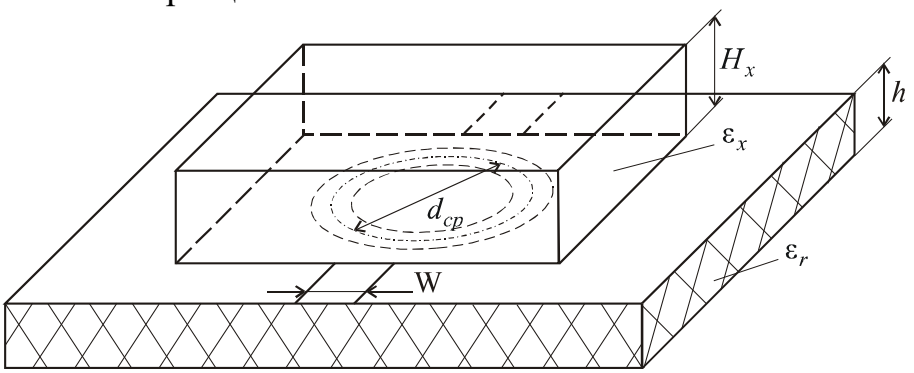


Рис. 1. Устройство для измерения диэлектрической проницаемости на кольцевом резонаторе

Рассчитанная в среде **Maxima** зависимость искомой диэлектрической проницаемости от отношения частот представлена на рисунке 2. Измеряя на панорамном измерителе Р2-61 на макете отношение частот без образца и с образцом, по графику можно определить искомую диэлектрическую проницаемость. Нижняя кривая для ε_r =5, средняя для ε_r =10, верхняя для ε_r =12.

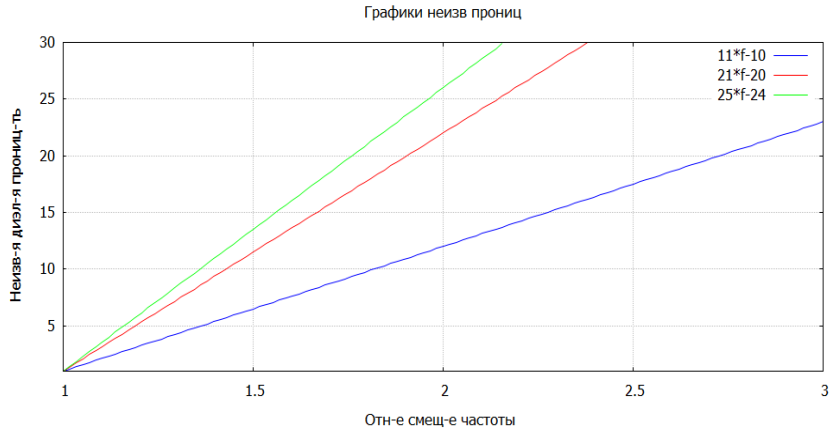


Рис. 2. Кривые зависимости ε_x от относительной частоты f_{p0}/f_{p1}

Установка для измерения была смоделирована в среде Microwave Studio. Смещение частоты измерялась по смещению резонанса кривой $S(f)$ без образца и с образцом. Ошибка при измерении не превышает 15%, что достаточно приемлемо для измерения диэлектрической проницаемости.

Результаты работы можно использовать для быстрой оценки неизвестной диэлектрической проницаемости лабораторным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малорацкий Л.Г. Явич Л.Р. Проектирование и расчет Элементов на полосковых линиях // М: Советское радио, 1972. 316 с.

A LABORATORY METHOD FOR MEASURING DIELECTRIC PERMITTIVITY

Soldatov A.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper proposes a laboratory method for measuring permittivity. This method is based on measuring the resonant frequency of a stripline ring resonator on an asymmetric stripline (ASL). Using a P2-61 panoramic meter, the resonant frequency is measured with and without a sample. The permittivity is calculated based on their displacement. The results can be used for rapid laboratory estimation of unknown permittivity.

УДК 537.867

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШПИЛЕЧНОГО ФИЛЬТРА

Солдатов А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В рамках разработки современных радиоэлектронных узлов и функциональных модулей, реализуемых в интегральном исполнении, все чаще возникает необходимость в использовании микрополосковых фильтров с компактной компоновкой. В подобных решениях особое внимание привлекают фильтры, использующие резонаторы шпилечной или П-образной конфигурации, за счет их потенциала в плане миниатюризации и гибкости конструктивного исполнения.

Шпилечный резонатор (рис. 1), представляющий собой модифицированный полуволновой отрезок полосковой линии, отличается от прямолинейной структуры наличием изгиба, формирующего характерную U-образную или V-образную форму, напоминающую "шпильку". Конструктивной особенностью данного резонатора является наличие электромагнитной связи между двумя параллельными ветвями, образующими структуру "шпильки". Это взаимодействие существенно влияет на резонансные характеристики резонатора и позволяет реализовать более компактные фильтры.

Однако, несмотря на все преимущества, следует учитывать, что наличие тесной электромагнитной связи между двумя ветвями, формирующими "шпильку", а также намеренное укорочение области связи в шпилечном резонаторе, приводит к повышению его резонансной частоты и, как следствие, к уменьшению достижимой относительной полосы пропускания. Этот эффект необходимо учитывать при проектировании фильтров на шпилечных резонаторах и компенсировать путем оптимизации геометрических параметров и выбора соответствующих материалов подложки.

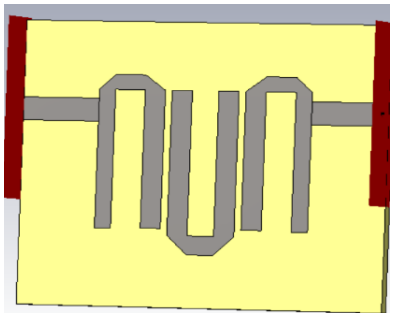


Рис. 1. Топология ППФ на шпильках

В предлагаемой работе рассматривается инженерный расчет и моделирование ППФ на шпилечных резонаторах, обеспечивающий достаточно хорошее совпадение расчетных и измеренных АЧХ фильтров.

Расчет трехшпилечного фильтра проводился в среде Maxima по формулам, приведенным в [1,2].

Рассчитанный ППФ был спроектирован в среде Microwave Studio. Результаты моделирования приведены ниже.

Смоделированные характеристики хорошо отражают требуемые выходные параметры.

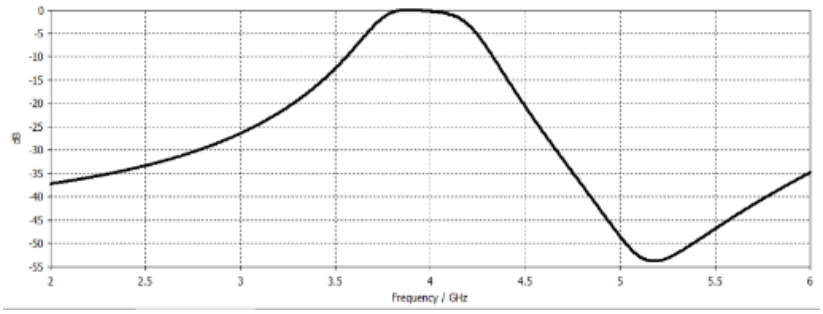


Рис. 2. Коэффициент передачи ППФР

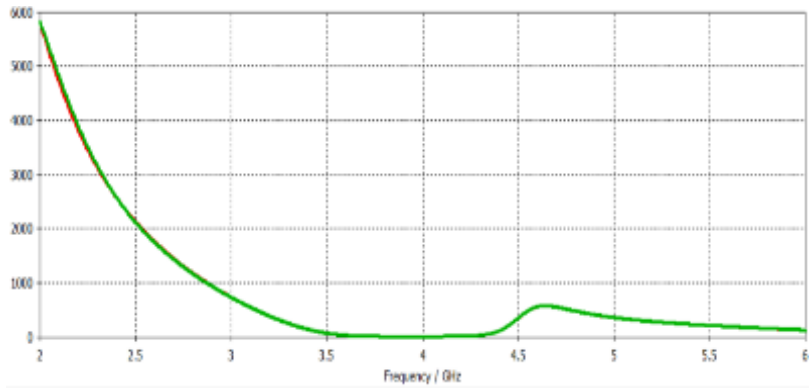


Рис. 3. КСВН фильтра

Результаты предложенной работы можно использовать для создания высокодобротных фильтров, которые могут широко применяться в бортовой технике и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малорацкий Л.Г. Явич Л.Р. Проектирование и расчет Элементов на полосковых линиях // М: Советское радио, 1972. 316 с.

2. Cristal E.G., Frankel S. Hairpin Parallel – Caupled-Line-Filters // JEEE.Trans. MTT-20. 1972. T 11.

MODELING A HAIRPIN FILTER

Soldatov A.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines a BPF based on hairpin resonators. A three-section BPF was calculated and modeled in Microwave Studio.

The modeled characteristics accurately reflect the required output parameters.

The results of this paper can be used to design high-Q filters that can be widely used in onboard equipment, etc.

УДК 621.396.67

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

Лаврушев В.Н., Низамиев Р.Р.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Особенностью рассматриваемого метода является то, что вместо применения формул и различных номограмм для оценки комплексной диэлектрической проницаемости диэлектрика используются среды электродинамического моделирования конкретных СВЧ устройств с испытуемыми образцами. Описание способа измерения комплексной диэлектрической проницаемости и устройства ее измерения на СВЧ приведены в патентах [1, 2]. На рисунке 1 приведена блок-схема измерения диэлектрической проницаемости.

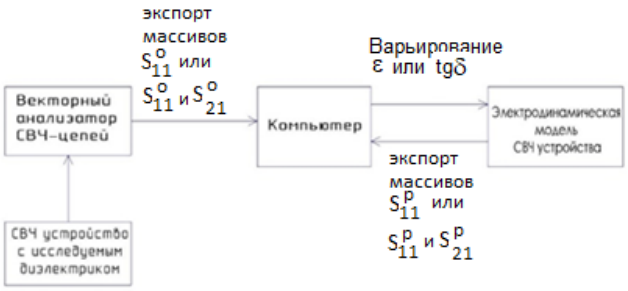


Рис. 1. Блок-схема исследований комплексной диэлектрической проницаемости образцов диэлектрика

В процессе проведения исследований, измерения проводились на физических моделях двух типов: однопортовой модели и двухпортовой (рис. 2 и рис. 3). Также были созданы электродинамические модели в программе CST Studio, соответствующие физическим моделям.

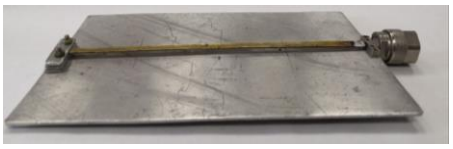


Рис. 2. Однопортовая физическая модель без диэлектрика

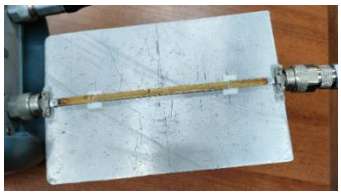


Рис. 3. Двухпортовая физическая модель без диэлектрика

В ходе исследований установлено, что на точность измерений существенное влияние оказывает идентичность АЧХ коэффициентов матриц рассеяния для физической и электродинамической моделей. В процессе исследования изменялись параметры электродинамической модели с целью получения максимального совпадения характеристик АЧХ.

После получения приемлемого совпадения характеристик, в физические модели вставлялись исследуемые диэлектрики. Вновь получившиеся АЧХ коэффициентов матриц рассеяния $\dot{S}_{11}^{0}$ для однопортовой модели и $\dot{S}_{11}^{0}, \dot{S}_{21}^{0}$ для двухпортовой модели экспортировались в компьютер. Эти АЧХ являлись контрольными, к которым устремлялись рассчитываемые в электродинамических моделях АЧХ при варьировании параметров диэлектриков, находящихся в электродинамических моделях.

Критерием оценки близости сравниваемых АЧХ служили функционалы СКО δ^2 на частотном интервале измерений:

$$\delta^2 = \int_{f_1}^{f_2}(\left|S_{11}^{O}(f_1 \cdot \varepsilon_r' \cdot tg\delta)\right|^2 - |S_{11}^{P}(f_1 \cdot \varepsilon_r' \cdot tg\delta)|^2)df \quad (1)$$

для однопортовой модели;

$$\delta^2 = \int_{f_1}^{f_2}(\left|S_{11}^{O}(f_1 \cdot \varepsilon_r' \cdot tg\delta) - S_{11}^{P}(f_1 \cdot \varepsilon_r' \cdot tg\delta)\right|^2 + \left|S_{21}^{O}(f_1 \cdot \varepsilon_r' \cdot tg\delta) - S_{21}^{P}(f_1 \cdot \varepsilon_r' \cdot tg\delta)\right|^2)df$$ для двухпортовой модели. (2)

Для подтверждения состоятельности предложенного метода были проведены исследования для двух диэлектриков. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения параметров диэлектриков

Диэлектрик	ε_r справ.	ε_r рассч.	$tg\delta$ справ.	$tg\delta$ рассч.
СТ-3	3,0±0,15	3,5	0,0067	0,0075
Ф4	2,0±0,1	2,1	0,0022	0,0015

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чони Ю.И., Лаврушев В.Н., Авксентьев А.А Способ измерения комплексной диэлектрической проницаемости материала в диапазоне СВЧ. RU 2797142 C1, заяв. 23.11.2022, опубл. 31.05.2023.

2. Чони Ю.И., Лаврушев В.Н., Авксентьев А.А Устройство для неразрушающего измерения на СВЧ комплексной диэлектрической проницаемости материала диэлектрических пластин. RU2822306 C1, заяв. 09.12.2023, опубл. 04.07.2024.

EXPERIMENTAL IMPLEMENTATION OF MODIFIED METHOD FOR DETERMINATION OF PARAMETERS OF DIELECTRICS IN MICROWAVE RANGE

Lavrushev V.N., Nizamiev R.R.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. The work is devoted to the study of a modified method for determining the complex dielectric constant of a dielectric. This method uses electrodynamic modeling of microwave devices with test samples.

УДК 621.396.6

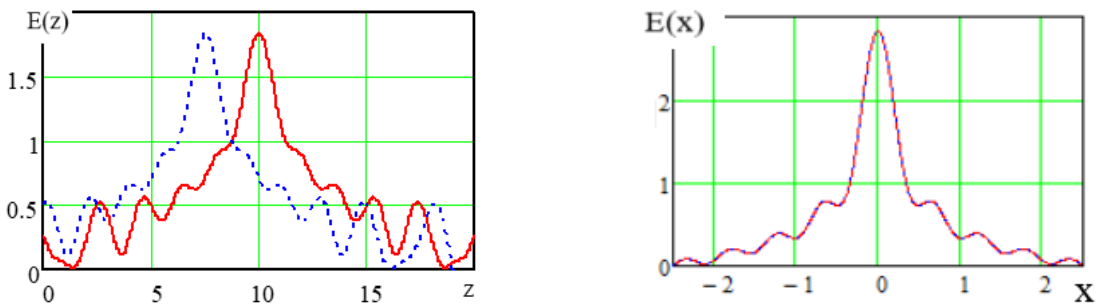
ТРЕХМЕРНАЯ ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЕРХРАЗМЕРНОМ ВОЛНОВОДЕ

Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Принцип фокусировки ЭМП находит широкое применение в различных задачах специальной радиосвязи, микроволновых технологий и микроволнового неразрушающего контроля. В большинстве известных случаев фокусировка осуществляется в открытом пространстве в зоне ближнего излученного поля [1-2]. Ситуации, когда фокусировка осуществляется в замкнутых областях изучены менее подробно [3-4]. К числу новых задач можно отнести фокусировку направляемых волн. Известен ряд работ, в которых область повышенной концентрации ЭМП создается в одномерной направляющей структуре за счет специально организованной интерференции направляемых волн различных частот [3]. В докладе рассматривается возможность фокусировки монохроматических направляемых волн. Фокусировка возможна в сверхразмерном волноводе, в котором возбуждается более одного типа волн. Последние, обладая различными фазовыми скоростями распространения, достигают заданной точки внутреннего пространства (x, y, z) с различными фазами колебаний. Максимум напряженности электрического поля в точке фокусировки (x_0, y_0, z_0) достигается, когда комплексные амплитуды распространяющихся волн равны:

$$A_{m\,\text{фок}} = \frac{\bar{\boldsymbol{E}}_m(x_0,y_0,z_0)}{\sqrt{\sum_m |\boldsymbol{E}_m(x_0,y_0,z_0)|^2}} \qquad (1)$$

Для подтверждения возможности достаточно эффективной фокусировки, в качестве демонстрационного примера рассматривается плоский сверхразмерный волновод с размерами поперечного сечения с размерами $0{,}5\lambda$x9λ. Во входном сечении $(z = 0)$ возбуждается 9 волн типа H_{m0} с комплексными амплитудами (1). На рис. 1 приведены рассчитанные зависимости модуля составляющей напряженности электрического поля.



а) *б)*

Рис. 1. Распределение модуля напряженности ЭМП в точке фокусировки с координатами в длинах волн (0,0.25,7.5) и (0,0.25,10) а) – в продольном направлении, б) – в поперечной плоскости.

Фокусировка ЭМПя в сверхразмерном волноводе может использоваться в задачах диагностики различных протяженных регулярных структур (воздуховодов, трубопроводов и др.), а также в задачах микроволновых технологий, например, в целях электромагнитного воздействия повышенной интенсивности в заданной части протяженных структур с неоднородным наполнением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антенны, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля : монография / под общ. ред. Ю.Е. Седельникова, Н.А. Тестоедова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. - Красноярск, 2015. - 308 с.
2. Веденькин, Д. А. Сфокусированные антенны в задачах неразрушающего радиоволнового контроля / Д. А. Веденькин, Ю. Е. Седельников // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 2. – С. 131-146. – DOI 10.24412/2410-9916-2023-2-131-146. – EDN UEXGUJ.
3. Фадеева Л.Ю. Метод синтезирования видеосигнала в задачах диагностики дефектов линий электропередачи и связи / Ю.Е. Седельников, Л.Ю. Фадеева // Контроль. Диагностика. - 2013. - №8. - С.55 – 60.
4. Степанов В.В. Синтез равномерного распределения СВЧ энергии в микроволновых технологических установках : дис. ... кандидата технических наук : 05.12.07 / Казан. гос. техн. ун-т им. А. Н. Туполева. - Казань, 2001. - 135 с

THREE-DIMENSIONAL FOCUSING OF AN ELECTROMAGNETIC FIELD IN AN OVERSIZED WAVEGUIDE

Gilfanova A.F., Vedenkin D.A., Sedelnikov Yu.E.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper discusses the formation of a three-dimensional focused electromagnetic field in an oversized waveguide. It demonstrates the possibility of generating an increased electromagnetic field intensity at a focal point with specified coordinates within the waveguide volume.

УДК 621.396.6

НЕКОГЕРЕНТНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ

Веденькин Д.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Классический принцип пространственной фокусировки электромагнитного поля (ЭМП), в том числе широкополосного, предполагает обеспечение синфазности всех спектральных компонент в фокальной области [1-3]. Однако фокусировка может быть достигнута и иным путём — за счёт временной синхронизации излучаемых широкополосных сигналов.

Это составляет основу метода некогерентной (или временно́й) фокусировки. В данной схеме элементы антенной решётки генерируют не гармонические колебания, а короткие наносекундные импульсы, излучаемые с индивидуальными временными задержками. Алгоритм расчёта этих задержек обеспечивает временно́е совмещение фронтов всех импульсов строго в заданной точке пространства, формируя в ней пиковое воздействие. Конфигурация плоской (XOY) решётки, реализующей этот метод, показана на рис. 1.

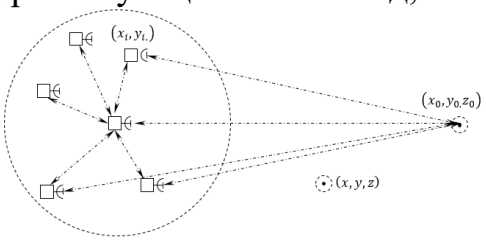


Рис. 1. Геометрия некогерентной сфокусированной антенной решетки

При одновременном воздействии излучаемых импульсов в точке фокусировки с координатами (x_0, y_0, z_0) амплитуда поля может быть представлена как

$$E(x_0, y_0, z_0, t) = \frac{\sum_{i=1}^{N} f(t)}{R_i(x_0, y_0, z_0)}, \quad (1)$$

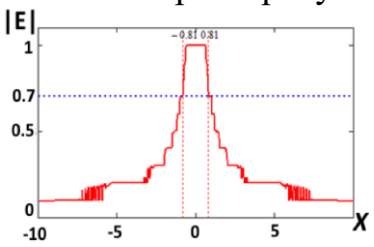
а в любой другой точке (x, y, z) амплитуда поля может быть представлена как

$$E(x, y, z, t) = \frac{\sum_{i=1}^{N} f\left(t - \frac{R_i(x, y, z)}{c} + \frac{R_i(x_0, y_0, z_0)}{c}\right)}{R_i(x, y, z)}, \quad (2)$$

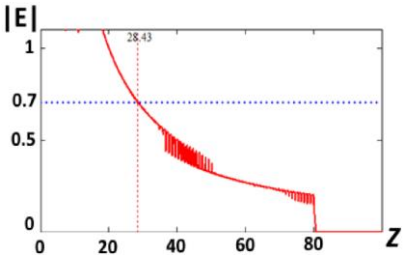
где $R_i(x_0, y_0, z_0)$ – расстояние от i-го излучателя до точки фокусировки, $R_i(x, y, z)$ – расстояние от i-го излучателя до произвольной точки, c – скорость электромагнитной волны в среде, $f(t)$ – функция, описывающая одиночный импульс во временной области.

Максимизируя по времени функцию пространственного распределения амплитуды сфокусированного поля согласно $\max_t [E(x, y, z, t)]$ построим на рис. 2

осевые распределения амплитуды сфокусированного поля вдоль продольной и поперечной оси для некогерентной решетки с заданной геометрией, синяя точечная линия характеризует уровень 0,707.



а) параллельно оси OX



б) вдоль оси OZ

Рис. 2. Распределения амплитуды некогерентного сфокусированного поля, максимизированные по времени

Сфокусированные в ЗБИП некогерентные решётки формируют особый тип антенных систем, фундаментально отличающийся от классических. Их отличительная черта — переход от непрерывного монохроматического излучения к дискретной последовательности фокусируемых импульсов наносекундной длительности. Принцип фокусировки в данном случае основывается не на пространственной интерференции волн, а на коррелированном во времени сложении этих импульсов в целевой точке. Такая методология позволяет перейти от статического распределения поля к динамическому, адресному и синхронизированному с внешними процессами импульсному воздействию на фокальный объект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д. А. Линейные некогерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 4 (64). С. 18–29. DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2024.4.18; EDN:

2. Веденькин Д. А., Седельников Ю. Е. Сфокусированные антенны в задачах неразрушающего радиоволнового контроля // Системы управления, связи и безопасности. 2023. № 2. С. 131-146. DOI: 10.24412/2410-9916-2023-2-131-146. EDN: UEXGUJ.

3. Веденькин, Д. А. Линейные и плоские антенные решетки, сфокусированные по широкополосным сигналам в задачах радиосвязи, микроволновых технологий и неразрушающего контроля / Д. А. Веденькин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 95-110. – DOI 10.18469/1810-3189.2025.28.1.95-110. – EDN ZNZHNO.

INCOHERENT ANTENNA ARRAYS FOCUSED IN THE NEAR-FIELD RADIATION ZONE

Vedenkin D.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The possibility of focusing a pulsed electromagnetic field by controlling the emission times of pulses from individual emitters of an antenna array is demonstrated.

УДК 621.396.6

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ АНТЕННЫ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ

Веденькин Д.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

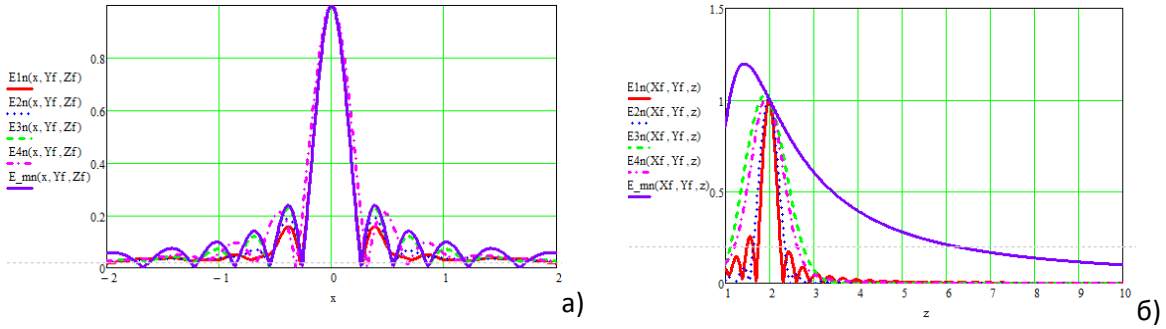
Прогресс в области науки и техники неразрывно связан с развитием и широким внедрением разнообразных радиоэлектронных систем. Их применение давно вышло за рамки классической радиосвязи, охватив такие сферы, как микроволновая обработка материалов и неразрушающий контроль. Подавляющее большинство подобных систем традиционно оперирует в дальней зоне излучения и использует узкополосные (или относительно узкополосные) сигналы. Между тем, актуальные прикладные задачи всё чаще требуют рассмотрения сценариев работы на ближних расстояниях (сравнимых с размерами антенной апертуры), а также применения сверхширокополосных (СШП) сигналов, что предполагает функционирование в зоне ближнего излученного поля [1-3].

Фокусировка таких широкополосных сигналов требует решения задачи частотно-зависимого управления фазой для каждой спектральной компоненты. При условии излучения сигналов со сплошным спектром и изотропности парциальных диаграмм направленности элементарных излучателей дискретной антенной решётки, напряжённость сфокусированного электрического поля может быть представлена следующим выражением:

$$\dot{E}(x,y,z) = \int_{f_0-\frac{\Delta f}{2}}^{f_0+\frac{\Delta f}{2}} \sum_{i=1}^{n} I_i(f) \cdot \frac{\exp\{-jk(f)[r_i(x,y,z)-r_i(x_0,y_0,z_0)]\}}{r_i(x,y,z)}\, df, \qquad (1)$$

где $k(f)$ – функция волнового числа, $I(f)$ – амплитуды токов в соответствии с законом спектрального распределения, n – количество излучателей.

Распределения модуля напряженности ШП ЭМП с полосой частот $\Delta f = 1000$ МГц вдоль основных координатных осей показана на рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Нормированные распределения модуля напряженности поля ШП сфокусированной дискретной антенны с шириной спектра ЭМ излучения $\Delta f = 1000$ МГц в направлении: а) – поперечном, б) – продольном

Для линейных и плоских широкополосных сфокусированных антенных решёток возможно формирование специальных разностных пространственных

распределений поля, характеризующихся нулевой амплитудой в точке фокусировки. В зоне ближнего излученного поля реализуются распределения двух принципиальных типов: с провалом вдоль поперечной оси (первый тип) и с провалом вдоль продольной оси (второй тип). При этом распределение второго типа, в отличие от первого, может быть синтезировано исключительно в ближней зоне, что подчёркивает его уникальность для соответствующих прикладных задач. В качестве иллюстрации на рис. 2 представлены рассчитанные распределения разностного типа для модели плоской широкополосной сфокусированной дискретной антенны.

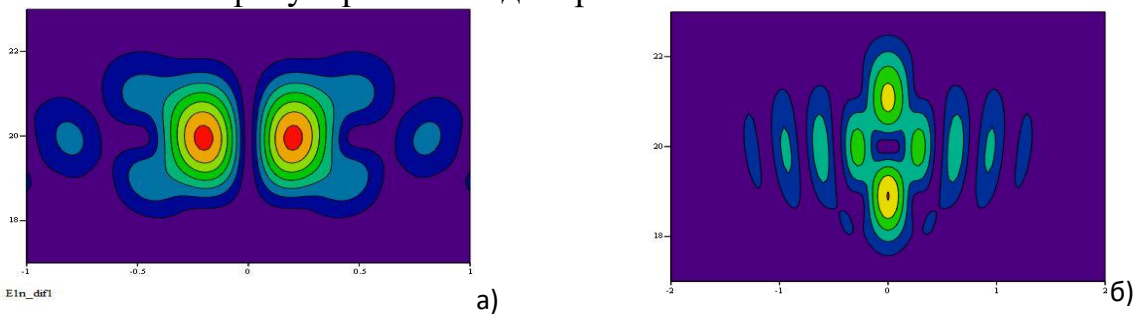


Рис. 2. Разностные пространственные распределения модуля напряженности электрического поля для дискретной антенны: а) – первого типа, б) – второго типа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д. А. Линейные некогерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 4 (64). С. 18–29. DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2024.4.18; EDN:

2. Веденькин Д. А., Седельников Ю. Е. Сфокусированные антенны в задачах неразрушающего радиоволнового контроля // Системы управления, связи и безопасности. 2023. № 2. С. 131-146. DOI: 10.24412/2410-9916-2023-2-131-146. EDN: UEXGUJ.

3. Веденькин, Д. А. Линейные и плоские антенные решетки, сфокусированные по широкополосным сигналам в задачах радиосвязи, микроволновых технологий и неразрушающего контроля / Д. А. Веденькин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 95-110. – DOI 10.18469/1810-3189.2025.28.1.95-110. – EDN ZNZHNO.

NEAR-FIELD FOCUSED WIDEBAND DISCRETE ANTENNAS

Vedenkin D.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The fundamental properties of linear and flat discrete antennas focused in the near-field radiated zone are examined. The possibility of generating differential electromagnetic field distributions is demonstrated.

УДК 621.396.6

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МУЛЬТИСФОКУСИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Гильфанова А.Ф.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В задачах, связанных с различными излучающими системами, одной из основных целей является разработка антенн с узкой диаграммой направленности, обладающих выраженным максимумом в заданной области пространства. Определяющую роль в формировании сфокусированного излучения играет амплитудно-фазовое распределение элементов, от которого напрямую зависят геометрические параметры и форма фокусного пятна.

В предыдущих работах [1, 2] рассматривались подходы к фокусировке электромагнитного поля одновременно в нескольких точках, основанные на разбиении антенной решётки на подрешётки и использовании двухчастотного режима излучения. В основу этих исследований положено классическое уравнение для напряжённости электромагнитного поля (1).

$$E(x,y,z)=\sum_{n=1}^{N} I_0 \cdot e^{\frac{-j\cdot k\cdot\left(R_\varphi - R(x,y,z)\right)}{R(x,y,z)}}. \qquad (5)$$

Для повышения эффективности мультифокусировки требуется оптимизация амплитудно-фазовых характеристик излучателей антенной решётки, что позволяет добиться более эффективной концентрации поля в локальной области пространства [3]. С этой целью применяются методы глобальной оптимизации, направленные на поиск такого фазового распределения, при котором формируемая картина поля максимально соответствует заданной.

В качестве эталона выбрана гауссовская функция, параметры которой близки к реальным распределениям поля в фокусных областях. По осям x и y среднеквадратические отклонения составляют σ_x = 1,25λ и σ_y = 0,5λ соответственно (Рис 1).

Анализ результатов показывает, что корректировка амплитуд и фаз отдельных излучателей позволяет достичь более эффективной концентрации излучения (Рис. 2). При этом в точках фокусировки F_1 и F_2 наблюдается рост значения напряжённости поля, а уровень боковых лепестков снижается по сравнению со случаем исходной линейной антенной решётки, что подтверждает эффективность предложенного подхода.

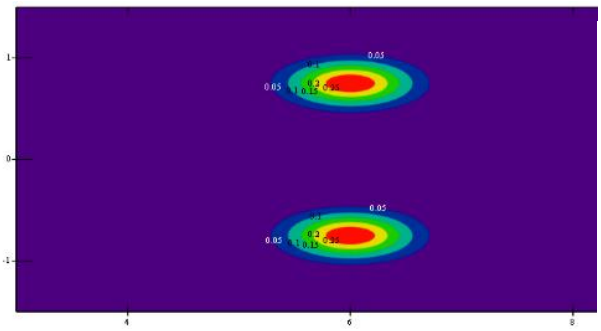


Рис. 1. Желаемое распределение поля для случая фокусировки в две точки

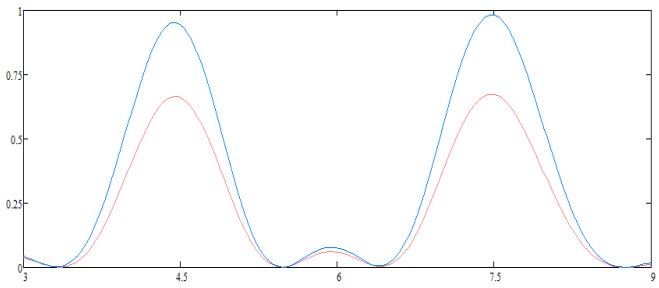


Рис. 2. Модуль напряжённости поля в направлении перпендикулярном излучению в области второй точки фокусировки, красная линия – случай до оптимизации, синяя линия – после оптимизации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильфанова А.Ф. Метод мультифокусировки электромагнитного поля в две точки пространства // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 3690-3695.

2. Гильфанова А. Ф. Метод мультифокусировки электромагнитного поля в три точки пространства // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 3696-3700.

3. Гильфанова А.Ф. Постановка задачи оптимизации фазового распределения при формировании мультисфокусированного излучения / А.Ф. Гильфанова, Д.А. Веденькин // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024: Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 107-108.

OPTIMIZATION OF THE MULTIFOCUSED RADIATION MODEL

Gilfanova A.F.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. The paper describes the formulation of the problem of optimizing the amplitude-phase distribution of the antenna array in order to obtain the best radiation pattern in the local area based on the application of global optimization methods. The process of optimizing the phase distribution on the radiators for obtaining multi-focused radiation, which is achieved due to multi-frequency radiation, is also described, and the results of modeling the antenna array are presented.

УДК 621.396.6

МУЛЬТИСФОКУСИРОВАННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ АНТЕННЫ

Гильфанова А.Ф.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В последние годы заметно возрастает внимание к научным работам, посвящённым концентрации электромагнитного излучения в области ближнего поля. Целью данной работы является анализ и исследование потенциала формирования множественных фокусов излучения в зоне ближнего излученного поля.

В существующих исследованиях представлены несколько вариантов формирования мультисфокусированного излучения [1-3]. В этих работах показано, что использование метода подрешеток при формировании диаграммы направленности (ДН), ориентированной на несколько точек одновременно, приводит к уменьшению значения максимумов мультисфокусированного излучения в сравнении с фокусировкой в одну область, а также сложности и громоздкости системы. В то время как применение многочастотного излучения для формирования ДН позволяет уйти от указанных недостатков.

В данной работе для исследования процесса мультифокусировки моделирование проводилось на двух частотах f_1 = 0.95 ГГц и f_2 = 1.05 ГГц. В качестве ключевых характеристик системы были выбраны: количество излучающих элементов — 21, а шаг между ними — 0,3 м. Полученное в результате моделирования пространственное распределение показано на рисунке 1. На представленном изображении видно наличие двух отчётливых максимумов, соответствующих выбранным точкам фокусировки F_1 = (9 м, −0.9 м) и F_2 = (9 м, 0.9 м), которые достигаются при частотах f_1 = 0.95 ГГц и f_2 = 1.05 ГГц, при этом уровень боковых лепестков остаётся достаточно низким.

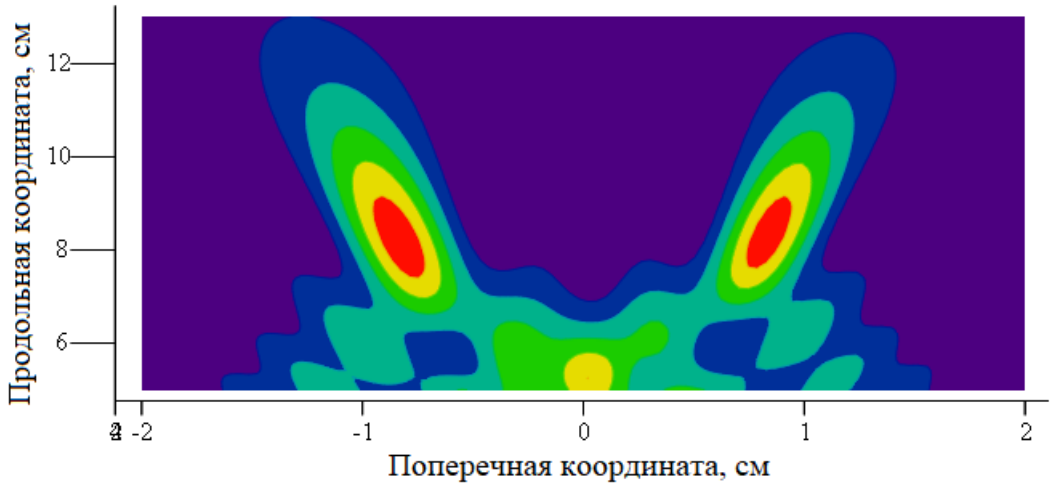


Рис. 1. Картина электромагнитного поля, сфокусированного в точки F_1 и F_2

В перспективе предполагается расширение количества точек фокусировки, а также усложнение формы диаграммы направленности, что показывает потанциал возможностей применения мультисфокусированного излучения, а также улучшения устройств, работающих в области ближнего излученного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильфанова А.Ф. Метод мультисфокусировки в антенных решетках ближнего излученного поля / А.Ф. Гильфанова, Е.А. Мезенцева // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023: Материалы X Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 13–15 апреля 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 98-100.

2. Гильфанова А.Ф. Формирование мультисфокусированного излучения / А.Ф. Гильфанова // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2024: Сборник тезисов докладов XI Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 300-летию со дня основания Российской Академии наук, 90-летию со дня рождения первых космонавтов СССР Ю.А. Гагарина и А.А. Леонова, 90-летию первого выпуска КАИ, 65-летию начала регулярного телевизионного вещания в Республике Татарстан, Казань, 11–12 апреля 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 69-70.

3. Седельников Ю.Е. Применение метода Ильина-Морозова и в задачах формирования мультисфокусированного электромагнитного излучения / Ю.Е. Седельников, Д.А. Веденькин, А.Ф. Гильфанова // BIG DATA и анализ высокого уровня: Сборник научных статей IX международной научно-практической конференции: в 2х частях, Минск, 17–18 мая 2023 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023. – С. 261-266.

MULTIFOCUSED LINEAR DISCRETE ANTENNAS

Gilfanova A.F.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. The paper discusses various options for implementing multifocused radiation, their respective advantages and disadvantages. In addition, the results of a study of the effect of multifocusing due to the use of multi-frequency radiation are presented, as well as the results of modeling a linear discrete antenna designed to generate radiation maxima at two different points in space simultaneously.

УДК 621.396.6

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИФОКУСИРОВАННЫХ АНТЕНН

Гильфанова А.Ф.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В последние годы использование электромагнитного излучения, формируемого и концентрируемого в области ближнего поля, получило широкое распространение в самых разных сферах человеческой деятельности. Для сокращения продолжительности технологических операций и повышения эффективности работы микроволновых установок может использоваться явление мультифокусировки электромагнитного излучения.

В работах [1-3] показана возможность применения мультисфокусированного излучения в задачах излучения энергии электромагнитного поля в несколько точек пространства, а также прием сигнала из нескольких областей одновременно.

В случае приема энергии электромагнитных полей из нескольких заданных областей пространства одновременно (Рис. 1) открываются новые возможности применения сфокусированных антенн в области радиолокации, медицинской диагностики и т.д. Таким образом, применение мультисфокусированных антенных систем в области может позволить оптимизировать процесс обнаружения объектов и их пеленгацию, модернизировать измерения температуры тела и внутренних тканей биологических объектов, что позволит повысить эффективность аппаратуры.

В случае формирования мультисфокусированного изучения (Рис. 2) открываются новые возможности в области микроволновых технологий: локальный нагрев, радиоволновая диагностика и т.д.

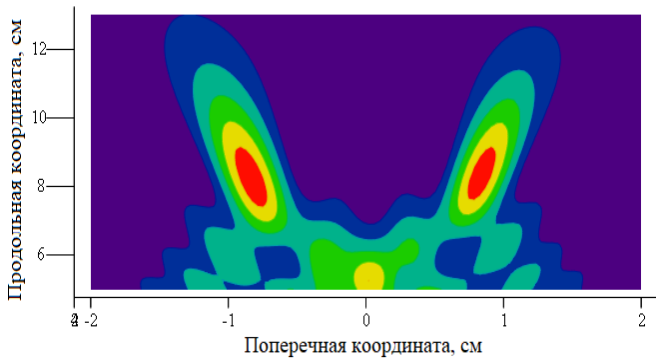


Рис. 1. Картина электромагнитного поля в случае приема энергии

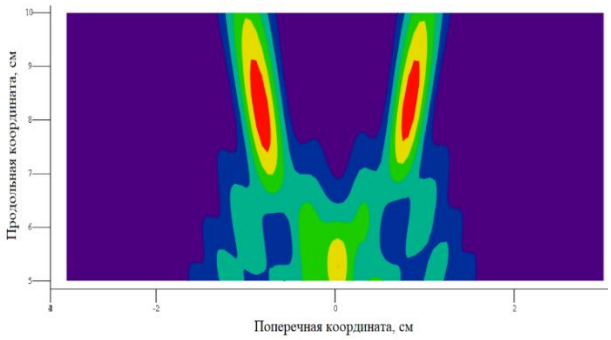


Рис. 2. Картина электромагнитного поля, сфокусированного в точки F_1 и F_2

Можем сделать вывод, что применение мультисфокусированных антенн создаёт дополнительные перспективы для их использования в различных областях радиотехники и микроволновых системах. При работе на нескольких частотах энергия электромагнитного поля может концентрироваться в

множестве заранее выбранных областей пространства, что способствует более эффективному формированию и приёму излучения [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильфанова А.Ф. Мультисфокусированные антенны в радиотехнических приложениях / А.Ф. Гильфанова, Д.А. Веденькин // Радиолокация, навигация, связь: Сборник трудов XXXI Международной научно-технической конференции. В 6-ти томах, Воронеж, 15–17 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2025. – С. 264-267.

2. Седельников Ю.Е. Применение мультифокусированных антенн в задачах медицинской диагностики / Ю.Е. Седельников, Д.А. Веденькин, А.Ф. Гильфанова // Big Data и анализ высокого уровня: сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Минск, 23–24 апреля 2025 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2025. – С. 460-463.

3. Гильфанова А.Ф. Мультисфокусированные линейные дискретные антенны, функционирующие в режиме концентрации энергии / А.Ф. Гильфанова, Д.А. Веденькин // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2024. – Т. 4, № 3. – С. 18-25.

4. Гильфанова А.Ф. Передача сигналов при использовании мультисфокусированного излучения/ А.Ф. Гильфанова // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2025: Сборник тезисов докладов XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 70-летию со дня образования кафедры электронных и квантовых средств передачи информации КНИТУ-КАИ, 20-летию со дня образования кафедры радиофотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ, 60-летию выхода в открытый космос А.А. Леонова, Казань, 10–12 апреля 2025 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2025. – С. 173-174.

POSSIBLE APPLICATIONS OF MULTIFOCUSED ANTENNAS

Gilfanova A.F.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. The paper presents the results of a study of the effect of multifocusing in various modes of operation: reception and transmission of electromagnetic field energy. Possible applications of multifocusing in microwave applications, as well as in radar and medicine are considered. The results of modeling a linear discrete antenna capable of concentrating and receiving electromagnetic radiation at two points in space simultaneously are presented.

УДК 621.396.677.33

СИНТЕЗ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛН С ВИХРЕВЫМ ФАЗОВЫМ ФРОНТОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ МОД

Катеринкина Е.Н.
(Уфимский университет науки и технологий)

Современные системы связи требуют новых подходов к повышению пропускной способности каналов. Традиционные методы мультиплексирования исчерпывают свой потенциал, что стимулирует поиск новых принципов передачи данных. В этом контексте использование свойств орбитального углового момента (ОУМ) электромагнитной волны открывает дополнительные степени свободы. Волны, переносящие различные порядки ОУМ (l), представляют собой набор ортогональных мод, которые формируют базис независимых каналов передачи в рамках выбранной полосы частот.

Практическая реализация компактных и реконфигуриемых антенн, способных генерировать радиоволны с различным порядком ОУМ, является сложной инженерной задачей, требующей точного контроля возбуждаемых мод. Существующие подходы к проектированию часто нуждаются в значительных вычислительных затратах на многовариантную оптимизацию.

В данной работе представлено решение задачи на основе метода характеристических мод (Characteristic Mode Analysis – CMA) [1]. В отличие от методов, анализирующих отклик структуры на возбуждение, CMA определяет собственные моды проводящей структуры, не зависящие от точки питания. Это позволяет систематически анализировать и модифицировать геометрию излучателя для поддержания необходимых мод.

На основе CMA разработана имитационная модель микрополоскового восьмиугольного излучателя (рис. 1) для генерации волны с круговой поляризацией, переносящей ОУМ l = -1 в диапазоне 4,8–4,99 ГГц. Поперечный размер излучателя равен примерно половине длины волны (f = 4,85 ГГц). При проектировании использована подложка RO4003C (ε_r = 3,38) толщиной 1,524 мм со слоем металлизации – 18 мкм.

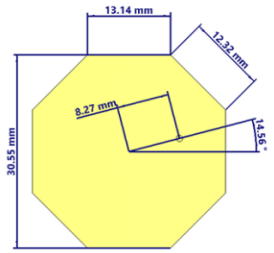


Рис.1. Геометрия излучателя

Геометрия излучателя обеспечивает разность характеристических углов для двух доминирующих мод, равную ≈90° на f =4,85 ГГц (рис. 2), что необходимо для генерации волн с первым порядком ОУМ.

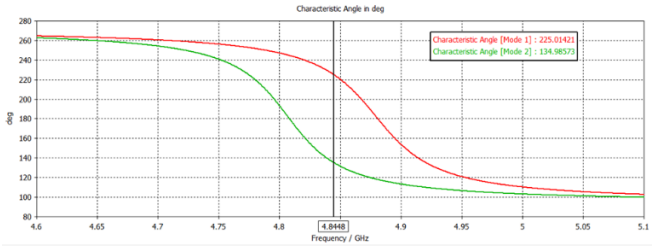
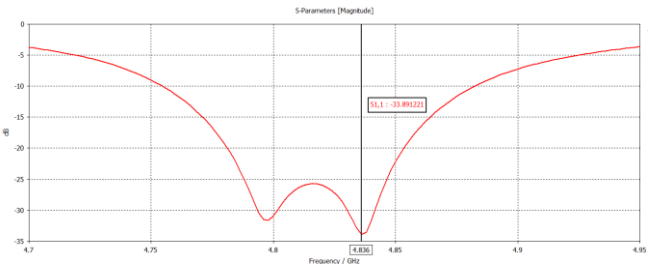


Рис.2. Значения характеристических углов

Для возбуждения выявленной пары мод был проведен выбор оптимального положения коаксиального зонда. Его расположение было оптимизировано таким образом, чтобы обеспечить сбалансированное возбуждение обеих ортогональных мод. Анализ результатов моделирования показал: резонансная частота излучателя равна 4,836 ГГц, что соответствует выделенному диапазону частот для систем 5G (рис. 3а); в дальней зоне излучения формируется радиоволна с вихревым фазовым фронтом, соответствующим порядку ОУМ l = -1 (рис. 3б).

а) 

б)

Рис. 3. Результаты моделирования: а) обратные потери (S_{11}), б) фаза E_x-компоненты поля в дальней зоне излучения

Таким образом, была показана применимость метода характеристических мод для синтеза излучателей, генерирующих волны с ненулевым ОУМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Garbacz R. J., et al. A Generalized Expansion for Radiated and Scattered Fields // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-19, May 1971, pp. 348-358.

RADIATOR DESIGN AIMED AT VORTEX RADIOBEAM GENERATION USING CHARACTERISTIC MODE ANALYSIS

Katerinkina E.N., Topolskaya E.P., Kataskin L.V
(Ufa University of Science and Technology)

The paper presents a compact patch antenna for OAM mode l = -1 generation, designed via Characteristic Mode Analysis. The antenna features circular polarization and operates in the 4.8-4.99 GHz band.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ДОРОЖНОГО РАДАРА

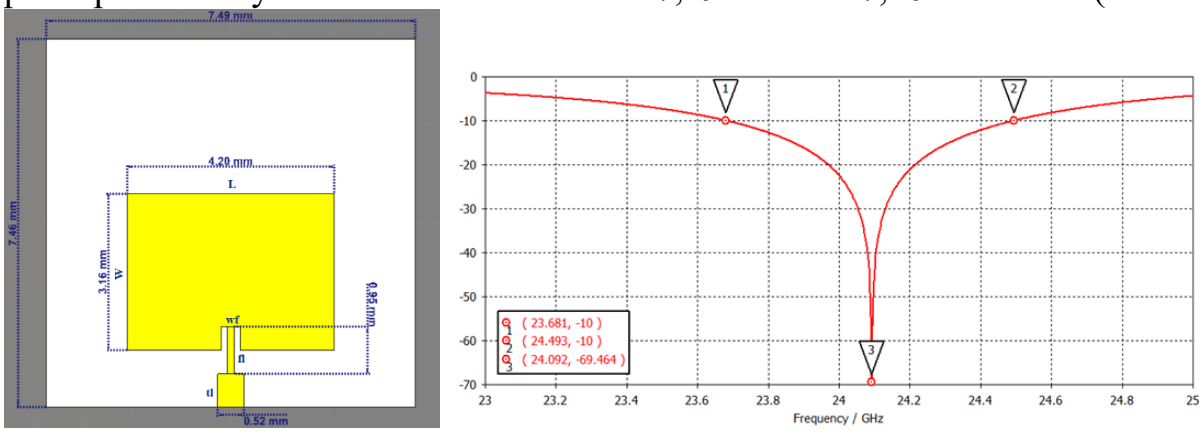
Сайфуллин Т.Э., Топольская Е.П., Воронков Г.С.
(Уфимский университет науки и технологий)

Инфраструктура «Умных дорог» требует наличия сенсорной подсистемы для подсчета и классификации транспортных средств для накопления больших данных о транспортных потоках с целью дальнейшего применения подхода «управления по данным» и предиктивной аналитики в транспортной отрасли. Данный тезис подтверждается Распоряжением Правительства РФ № 3097-р, которым утверждено стратегическое направление по цифровой трансформации транспортной отрасли, включающее цифровизацию управления транспортным комплексом, а также жизненного цикла инфраструктуры и транспортных средств [1].

Дорожные радары могут сыграть ключевую роль в достижении безопасности на дороге, являясь отличным инструментом для осуществления контроля превышения скорости, дисциплины водителей и анализа загрузки дорог для управления трафиком дорожного движения. Современные СВЧ-радары представляют собой разнообразный класс устройств, предназначенных для обнаружения объектов, измерения расстояний и скоростей с высокой точностью даже в сложных условиях. Основной стратегической инициативой предприятий по обслуживанию и внедрению технологий ИТС в РФ на сегодняшний день выступает переход на российские радарные системы, обеспечивающие паритет функциональных показателей с заменяемыми зарубежными аналогами. Существующие исследования в области создания антенн для дорожных радаров сфокусированы на обеспечении высокой точности и чувствительности конечного устройства, что требует низкого уровня боковых лепестков (УБЛ) антенны, высокого коэффициента усиления и широкой полосой пропускания. Среди отечественных разработок стоит выделить радарный модуль, устанавливаемый вдоль автодорог, перпендикулярно направлению движения транспортных средств, позволяющий осуществлять мониторинг дорожного движения [2].

На основе существующих решений по проектированию дорожных радаров были определены основные требования к излучающему элементу радарной системы. Частотный диапазон в полосе от 24,05–24,25 ГГц в соответствие с решением Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) [3]. В качестве целевых параметров для антенной решетки (АР) важным является: ширина главного лепестка диаграммы направленности (ДН) $\leq 10^{o}$ для наиболее точного слежения за автомобилем, движущегося с максимальной разрешенной скоростью в зоне обслуживания, сектор сканирования от -35 градусов до +35 градусов от нормали, выбранный с точки зрения самых распространенных топологий автодорог, низкий уровень боковых лепестков ≤10 дБ.

В процессе моделирования был выбран материал подложки Rogers 4003 толщиной 0,305 мм, с диэлектрической проницаемостью 3,38. Толщина медного слоя металлизации составляет 18 мкм. После циклов оптимизации габаритные размеры излучателя составили 7,49 х 7,46 мм (Рис. 1а).



а) б)

Рис. 1. а) Вычислительная модель излучателя, б) Обратные потери (S_{11})

Согласно результатам моделирования, рабочий диапазон излучающего элемента составляет 0,799 ГГц (от 23,681 до 24,493 ГГц), резонанс достигается на частоте 24,1 ГГц и глубиной – минус 69 дБ (рис. 1б). Дальнейшим этапом исследования является расчёт требуемого коэффициента усиления (КУ) для моделирования антенной решетки передающей части радара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 ноября 2023 г. №3097-р об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года https://mintrans.gov.ru/documents/2/12953 .

2. Радарный модуль 24 ГГц. https://device.milandr.ru/products/svch-ustroystva/svch-priyemoperedatchik-m-lc6/.

3. Решение ГКРЧ при Мининформсвязи России от 07.05.2007 № 07-20-03-001 (ред. от 24.12.2018) "О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия".

MODELING OF A RADAR ELEMENT FOR ROAD RADAR

Sayfullin T.E., Grakhova E.P., Voronkov G.S.
(Ufa University of Science and Technology)

This article is devoted to the development of the basic elements for road radars, which are installed in the same direction as the movement of vehicles in the Russian Federation. It describes an approach to the implementation and design of a scanning phased array antenna operating in the K-band of frequencies 24.05-24.25 GHz, and a simulation model of the radiator was created to form the antenna array of the transmitting part of the road radar.

Секция 9. Студенческая секция

УДК 004.71

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ РОЗЕТКИ СКРЫТОГО МОНТАЖА

Шатохин В.И.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Развитие технологий связи, основанных на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) обусловило необходимость подведения волоконно-оптического кабеля непосредственно в помещение конечного абонента (архитектура FTTH, FTTD). Однако вместе с тем появляется необходимость в инженерном решении, позволяющем органично встроить волоконно-оптический кабель в интерьер, а также защитить волокно от возможных физических воздействий.

Оптическая розетка скрытого монтажа представляет собой телекоммуникационное устройство для органичного и надёжного соединения оптического волокна с конечным устройством.

Ее использование продиктовано следующими физико-техническими аспектами:

- Повышение спроса на оптический доступ к сети интернет: все большее количество подключений к сетям доступа осуществляется по технологиям FTTx и PON/GPON, особенно в частных секторах, что лишь увеличивает необходимость в скрытой проводке волоконно-оптического кабеля.
- Защита от повреждений: монтажная коробка и органайзер физически изолируют хрупкое сварное соединение.
- Защита от загрязнений: Лицевая панель с заглушкой предотвращает попадание пыли — частой причины нестабильности связи.
- Эргономика: Устройство предоставляет пользователю стандартный, интуитивно понятный порт для подключения, аналогичный RJ-45.

Оптическая розетка скрытого монтажа представляет собой комплексное решение, аналогов которому на рынке представлено недостаточно. Разработанная схема данного устройства позволит осуществить интуитивно понятный монтаж, встроенный в интерьер конечного потребителя (рис. 1).

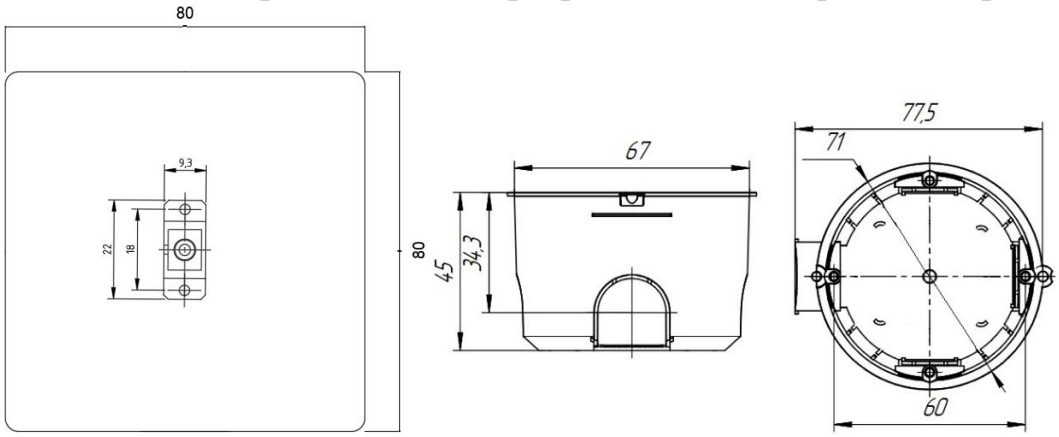


Рис. 1. Схема оптической розетки скрытого монтажа (с подрозетником)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдин В.А., Бурдин А.В., Воронков А.А., Лиманский Н.С., Попов Б.В., Воронков А.В. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕТЕЙ ДОСТУПА [Электронный ресурс] // 2014. URL: http://lsits.psuti.ru/arc/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%202.pdf
2. Планирование сетей FTTH – планировщик PON OnePlan Access [Электронный документ]. – URL: http://84.253.76.106:8080/content/?fl=556&sn=943. – 07.05.2007.\
3. FTTx solutions for service providers. – Bothell: Allied-Telesys Inc., 2009. – 16 p.

DESIGNING A FLUSH-MOUNTED OPTICAL SOCKET

Shatokhin V.I.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

As fiber-optic technology has developed, it has become necessary to integrate the cable seamlessly into the interior and protect it from damage. To address this need, a flush-mounted optical socket has been created. This socket protects the delicate connection from physical impacts and contamination, while also providing the user with a convenient connection point. This all-in-one solution allows for an aesthetic and reliable installation directly in the customer's premises.

УДК 004.8.

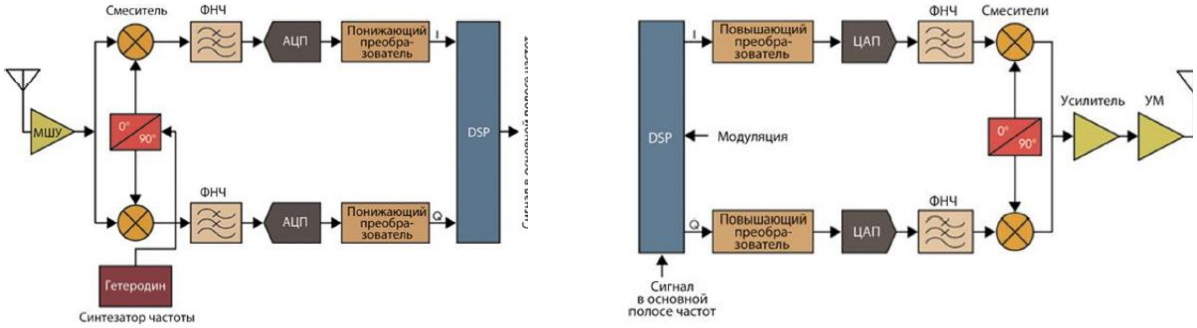
УДК 621.396.67

SDR. ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Исаев Н. А., Филимонова Л. Н.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Программно – конфигурируемое радио (SDR) представляет собой одну из революционных технологий в системах радиосвязи, в которой традиционные аналоговые компоненты (микшеры, усилители, фильтры и пр.) успешно были заменены программными реализациями, что в свою очередь, привело, к существенному уменьшению габаритов, а следовательно, и массы устройства [1]. При этом, чтобы добиться высокой спектральной эффективности передачи и противостоять к различным рода помехам, рассматриваемые в работе системы способны адаптивно подстраиваться по радиочастотную обстановку путем выбора наименее зашумленных каналов связи или при помощи использования более сложной процедуры формирования сигнала и его последующей обработки.

На рис. 1 и рис. 2 соответственно представлены схемы современных SDR – приемника и передатчика.



А) Б)

Рис. 1. Структурные схема современных SDR – приемника (А) и передатчика (Б)

Программно – конфигурируемое радио (SDR) обладает многочисленными преимуществами по сравнению с традиционными радиосистемами, используя гибкость и программируемость программного обеспечения с целью повышения производительности, универсальности и эффективности.

За счет гибкости, рассматриваемые в работе SDR имеют возможность адаптироваться к широкому спектру радиопротоколов и форм сигналов за счет обновления программного обеспечения, устраняя при этом необходимость в дальнейшей модификации оборудования. Кроме этого, гибкость позволяет достаточно быстро осуществить перенастройку радиосистем. Еще одним преимуществом является масштабируемость и экономическая эффективность, так как архитектуры SDR облегчают интеграцию различных функций радиосвязи в единую платформу, снижая сложность и стоимость оборудования. Технология SDR способствует взаимодействию и совместимости различных

радиосистем, обеспечивая бесперебойную связь между различными сетями и устройствами. Благодаря соблюдению открытых стандартов и протоколов, платформы SDR облегчают интеграцию с существующей инфраструктурой и оборудованием. SDR можно легко модернизировать, добавляя новые функции и возможности посредством обновлений программного обеспечения, что продлевает срок службы радиооборудования и обеспечивает его долгосрочную жизнеспособность. Кроме этого, SDR позволяют динамически управлять питанием и оптимизировать производительность радиосистем посредством программного обеспечения. Регулируя такие параметры, как мощность передачи, схемы модуляции и алгоритмы обработки сигнала, системы SDR могут максимально повысить эффективность и использование спектра.

Однако, у SDR, рассматривающихся в работе, также имеются и следующие недостатки:

- высокая сложность программного обеспечения;
- высокая стоимость разработки ПО;
- повышенное энергопотребление.

При этом, несмотря на вышеупомянутые недостатки, данная технология нашла активное применение для изучения различных природных явлений, а также для организации мониторинга радиосигналов и сбора информации [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schulze H., Luders C. Theory end Application of OFDM and CDMA. Wideband Wireless Communications // British library Cataloguing in Publication Data.: John Wiley & Sons, Ltd, 2005. – 509 p.

SDR. MAIN FEATURES. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Isaev N. A., Filimonova L. N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines the main advantages and disadvantages, as well as the practical application of software-defined radio (SDR), in which the physical layer functions (i.e., setting the main characteristics) are implemented in software, and the device itself has relatively small dimensions and weight.

УДК 621.396.1

ИССЛЕДОВАНИЕ OFDM – MTFSK И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК В КАНАЛЕ С ОБЩИМИ РЕЛЕЕВСКИМИ ЗАМИРАНИЯМИ

Филимонова Л.Н., Пчелинцев А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В данной работе было выполнено исследование основных характеристик OFDM – MTFSK – системы, в которой MTFSK, согласно [1], представляет собой один из способов модуляции, которая позволяет осуществить передачу данных за счет выбора $M-$ ортогональных сигналов, отличающихся друг от друга исключительно частотой. При этом, область нижних частот подобных сигналов можно определить при помощи следующего соотношения:

$$S_m(t) = Ae^{j2\pi m f_\Delta t}, m = 0,1,...,M-1, 0 \le t \le T_s, \quad (1)$$

где A – значение амплитуды сигнала; $f_\Delta = \frac{1}{T_s}$ – параметр, характеризующий ортогональность сигналов в частотной области.

На рис. 1 в качестве примера представлен принцип выбранной для исследования системы на примере 4 – 2 FSK, в котором как отмечено в [1, 2], основная идея заключается в том, чтобы осуществить передачу двух частот из четырех, что позволяет получить гибридную MTFSK – систему (рис. 2).

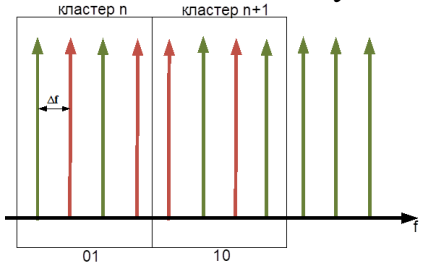


Рис. 1. Пояснение к принципу работы OFDM – MTSFK (4 – 2 FSK) – системы

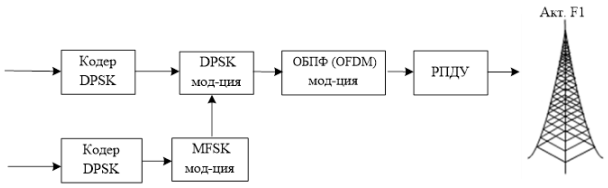


Рис. 2. Структурная схема гибридной OFDM – MTSFK – системы

Рассматривая канал с общими релеевскими замираниями, согласно [2], для исследуемой системы мы можем выделить следующие основные характеристики: вероятность ошибки в канале p_{ER}, которая в общем виде определяется следующим образом:

$$p_{ER} = \frac{1}{R_0} \cdot e^{-\frac{R}{R_0}}. \quad (2)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов [Текст]. – БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.

2. Van de Beek, J. J. A time and frequency synchronization scheme for multiuser OFDM // Selected Areas in Communications, IEEE Journal on. – 1999. – T. 17. – №. 11. – 1900-1914 p.

STUDY OF OFDM-MTFSK AND ITS CHARACTERISTICS IN A CHANNEL WITH GENERAL RAYLEIGH FADING

Filimonova L.N., Pchelintsev A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper explores the key characteristics of an OFDM-MTFSK system, in which MTFSK is one of the modulation methods. Key characteristics for a channel with general Rayleigh fading were identified.

УДК 621.396.1

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ PAPR В OFDM

Суровцев Д. Е., Филимонова Л. Н.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

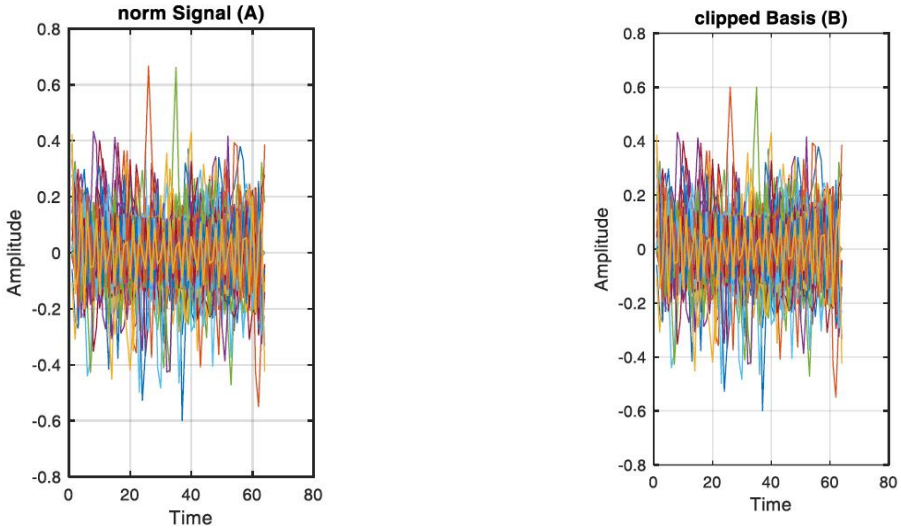
В [1] отмечено, что OFDM представляет собой метод передачи с несколькими поднесущими, при котором один набор данных передается на нескольких поднесущих. При этом, рассматриваемая технология использует преимущество многолучевого распространения сигнала, что в свою очередь, снижает влияние возникающих в канале замираний. При этом, следует немного остановится на идеи OFDM, которая состоит в том чтобы разделить общую полосу пропускания на несколько ортогональных поднесущих, что снижает межсимвольные помехи (МСИ), энергопотребление и увеличивается емкость и эффективность самой системы. Параметр PAPR (пиковое среднее отношение мощности) представляет собой один из главных недостатков OFDM, который существенно снижает эффективность системы.

В рамках данной работы было проведено исследование существующих в настоящее время методов снижения параметра PAPR, высокий уровень которого согласно [1 – 2], приводит существенному снижению энергоэффективности системы, а также к увеличению возникновения различного рода искажений в усилителях. При этом, как отмечено в [1, 2], у OFDM – сигналов, как правило, наблюдается относительно высокое значение уровня пик – фактора. Данный параметр, как правило, оказывает существенное влияние и приводит к увеличению соответствующего уровня МСИ и ВМСИ, а также внеполосных излучений. В большинстве случаев, как отмечено в [3], можно устранить при помощи методов, представленных ниже:

- методов, которые основаны на блочном кодировании, позволяющие отобразить множество информационных символов OFDM – сигналов с низким значением PAPR;
- методов, основанных на амплитудном ограничении сигналов;
- вероятностные методы [3].

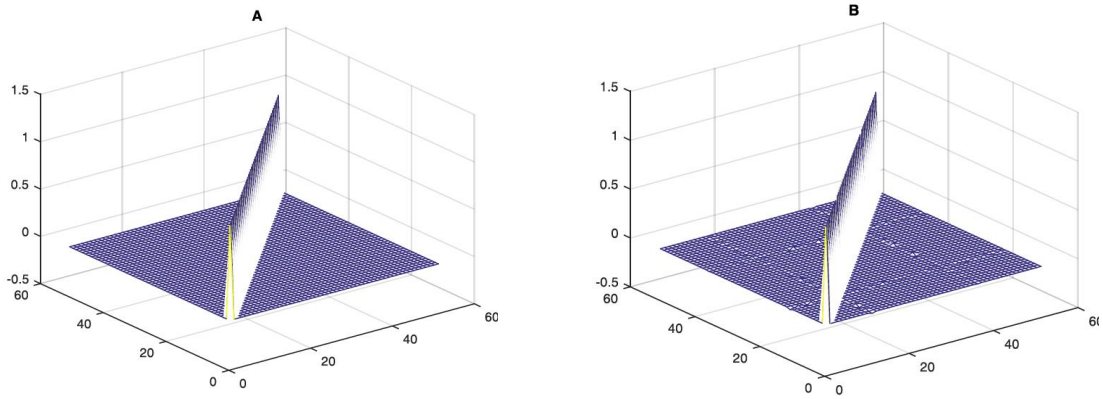
В рамках выполнения исследования в данной работе был выполнен расчет PAPR для сигналов на базисе собственных векторов с амплитудным ограничением и без него. Полученные результаты в ходе выполненного моделирования представлены на рис. 1 – рис. 2 соответственно.

Таким образом, исходя из полученных результатов имитационного моделирования можно заметить, что при изменении уровня порога ограничения, ортогональность OFDM – сигнала нарушается, т.е. на демодулирующей стороне возникают соответствующие взаимные помехи.



а) *б*)

Рис. 1. Полученный сигнал до (а) и после амплитудного ограничения (б)



а) *б*)

Рис. 2. Результат проверки ортогональности до (а) и после амплитудного ограничения (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davis J.A., Jedwab J. Peak-to-mean power control in OFDM, Golay complementary sequences, and Reed-Muller Codes // IEEE Transactions on information theory, 1999. – V. 45. – P. 235 – 239.

2. Wang L., Tellambura C. An Overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for OFDM systems // Signal Processing and Information Technology, 2006. – P. 840 – 845.

BASIC METHODS FOR REDUCING PAPR

Surovtsev D. E., Filimonova L. N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper discusses currently existing methods that reduce PAPR in OFDM systems. Based on the obtained results of the simulation modeling, it can be noted that when the limiting threshold level changes, the orthogonality of the OFDM signal is violated, i.e., corresponding mutual interference occurs on the demodulating side.

УДК 615.47

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СВЕТОДИОДОВ В ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГИПЕРБИЛИРУБИНЕМИИ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

Огальцов М. С., Уразбахтина Ю. О.
(Уфимский университет науки и технологий)

Впервые светодиоды стали применять в фототерапии в 1990 годах. Наиболее перспективными источниками света для фототерапии гипербилирубинемии новорождённых, несомненно, являются сверхъяркие светодиоды [1].

Их применение позволяет повысить терапевтическую эффективность и снизить побочные эффекты, вызванные УФ-составляющими в спектре традиционных ламп, а также сенсибилизирующим действием продуктов фотодеградации билирубина.

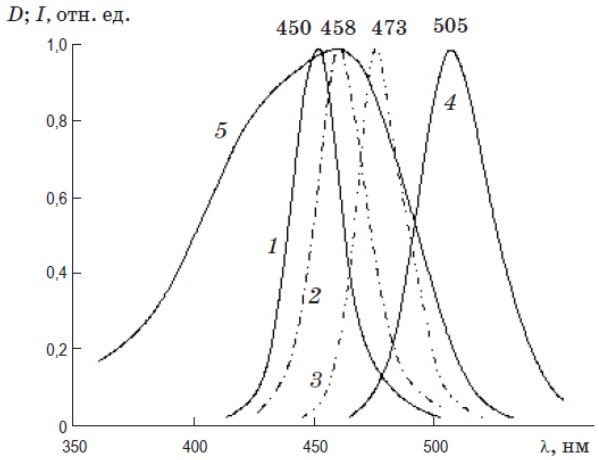


Рис. 1. Спектры перспективных для фототерапии сверхъярких светодиодов (1–4) и целевого комплекса билирубин–альбумин (5).[1]

Современные светодиоды условно разделяют на три категории — в зависимости от потребляемой мощности и рабочего тока: индикаторные, сверхъяркие и мощные.

К первой группе относятся компактные устройства, предназначенные преимущественно для индикации: их сила света, как правило, не превышает 100 мкд.

Во вторую группу входят светодиоды, в основе которых лежат кристаллы малого и среднего размера, — именно они обеспечивают высокие световые показатели: сила света может достигать 10 кд, а световой поток в белом диапазоне — начиная от 20–30 лм и выше.

Наконец, мощные светодиоды, оснащённые наиболее крупными кристаллами, демонстрируют рекордную эффективность: для белого света их световая отдача превышает 50 лм/Вт.

Конструкция светодиодной системы должна обеспечивать эффективный теплоотвод от p–n-перехода, поскольку повышенная рабочая температура напрямую ухудшает ключевые параметры светодиодов — светоотдачу и ресурс [2].

С другой стороны, для гарантии стабильности цвета, долгого срока службы и общей надёжности необходимо стабилизированное токовое питание. Практическим решением для стабилизации тока служат интегральные драйверы для светодиодов.

Интегральные драйверы, которые производятся, классифицируются по методу стабилизации на две основные категории: линейные регуляторы тока и импульсные стабилизаторы.

Автором была сформирована концепция применения сверхъярких светодиодов как перспективного источника освещения для лечения гипербилирубинемии у новорожденных. Этот вывод был сделан на основе анализа преимуществ светодиодов, которые обеспечивают более высокую терапевтическую эффективность и уменьшают побочные эффекты благодаря отсутствию ультрафиолетовых и инфракрасных компонентов в их спектре. Кроме того, автором были систематизированы основные типы современных светодиодов (индикаторные, сверхъяркие, мощные) и определены ключевые технические требования для их стабильной и долговечной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Ю. Плавский Фототерапевтические системы для лечения гипербилирубинемии новорожденных / В. Ю. Плавский и др. // Оптический журнал- 2014.-№6(81).- С 51-59.

2. А. А. Астахов Оптимизация тепловых режимов в конструкциях световых приборов на полупроводниковых источниках света/ А.А. Астахов и др. // Доклады ТУСУРа – 2011 - №2 (24)- с 81-90

Justification for the Selection of LEDs in a Phototherapeutic System for the Treatment of Hyperbilirubinemia in Newborn Infants

Ogaltsov Maxim Sergeevich, Urazbaktina Yulia Olegovna
(Ufa University of Science and Technology)

The article substantiates the selection of LEDs for a neonatal hyperbilirubinemia phototherapy system, highlighting high-brightness LEDs as the most promising. Their key advantages are increased therapeutic efficacy and reduced side effects due to the absence of ultraviolet and infrared radiation. The work also emphasizes the importance of thermal management and the use of stabilized current for the reliable operation of such LEDs.

\УДК 615.47

ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГИПЕРБИЛИРУБИНЕМИИ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

Огальцов М. С., Уразбахтина Ю. О.
(Уфимский университет науки и технологий)

Гипербилирубинемия новорожденных — одно из наиболее распространенных состояний в неонатологической практике. Физиологическая желтуха встречается у 60% доношенных и у 80% недоношенных детей. Однако в ряде случаев уровень непрямого (свободного) билирубина может достигать токсических значений. Билирубин, проникая через гемато-энцефалический барьер может вызывать билирубиновую энцефалопатию (ядерную желтуху).

Основным фоторецептором в процессе фототерапии является молекула непрямого билирубина, находящаяся в коже и поверхностных капиллярах. Спектр поглощения билирубина in vivo имеет два выраженных пика: один в синей области спектра (~460 нм), другой — в зеленой (~490 нм). Однако эффективность фототерапии определяется не только величиной поглощения, но и глубиной проникновения света в кожу. Синий свет с длиной волны 450-470 нм обладает оптимальным балансом: он максимально поглощается билирубином и при этом достаточно глубоко (на несколько миллиметров) проникает в кожу, достигая целевых молекул. [1]

Более длинные волны (зеленый свет, 520-530 нм), хотя и проникают глубже, обладают значительно меньшим коэффициентом поглощения билирубином, что делает терапию менее эффективной. Источники белого света (например, флуоресцентные лампы) генерируют широкий спектр, большая часть которого (красный, желтый, инфракрасный) не участвует в реакции и бесполезно расходуется, генерируя избыточное тепло. Таким образом, выбор узкого спектрального диапазона 450-470 нм является научно обоснованным и обеспечивает максимальную скорость снижения уровня билирубина. [2]

Система для фототерапии, должна соответствовать следующим требованиям:

- высокая эффективность терапии (плотность мощность светового воздействия P≈1.5 мВт/см2)
- долговечный, надежный источник излучения (ресурсы светодиодов находятся на уровне 20000-50000 ч)
- компактный корпус, позволяющий облучать новорожденного в палате около матери (630 х 330 х 400 мм)
- комфортное облучение, не требующее применения неудобной защиты для глаз (т.к облучение происходит снизу, свет направлен прямо на ребенка, а специальное одеяло предотвращает утечку света)

Система состоит из сверхъярких светодиодных микрочипов, которые дают достаточно высокую интенсивность излучения на всей облучаемой поверхность (интенсивность не уменьшается ближе к краям облучаемого пятна). На экране таймера ведётся отсчёт длительности сеанса.

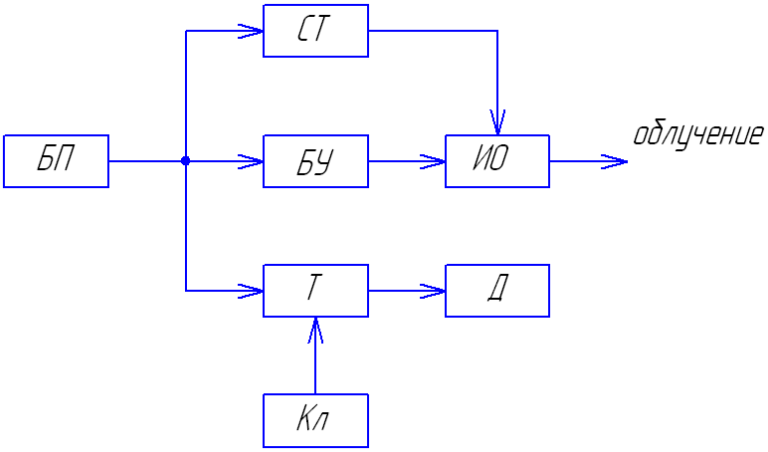


Рис. 1. Схема структурная устройства для облучения новорожденных с гипербилирубинемией: ИО – источник облучения, Кл – клавиатура, БУ – блок управления, Т – таймер, СТ – система терморегуляции, Д – дисплей, БП – блок питания

Источник облучения комплектуется пятью мощными диодными чипами Luxeon, образующими конфигурацию «Н». Его работа инициируется подачей электропитания на блоки управления. Чтобы предотвратить перегрев, реализована система терморегуляции: светодиоды закреплены на радиаторе, который обдувается вентилятором для эффективного охлаждения.

Была разработана структура системы фототерапевтической системы для лечения гипербилирубинемии новорожденных детей. Проведенный анализ подтвердил, что использование узкого спектрального диапазона 450-470 нм, соответствующего пику поглощения непрямого билирубина, является оптимальным для максимальной эффективности фотоизомеризации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Ю. Плавский Фототерапевтические системы для лечения гипербилирубинемии новорожденных / В. Ю. Плавский и др. // Оптический журнал- 2014.-№6(81).- С 51-59.
2. Методы биофотоники: фототерапия: учеб. Пособие / Генина Э.А. Саратов: Новый ветер, 2012. – 119 с.

PHOTOTHERAPEUTIC SYSTEM FOR THE TREATMENT OF HYPERBILIRUBINEMIA IN NEWBORN INFANTS

Ogaltsov Maxim Sergeevich, Urazbaktina Yulia Olegovna
(Ufa University of Science and Technology)

The article presents a phototherapy system for neonatal hyperbilirubinemia, using high-brightness LEDs that emit light in the 450-470 nm range for optimal efficacy and safety. This LED-based design provides high irradiance, compactness, and eliminates the need for bulky eye protection, allowing treatment near the mother. The developed system, which includes thermal regulation, meets modern requirements for effective, reliable, and comfortable treatment of jaundice in newborns.

УДК 004.056, 004.838

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ФРОНТИРЕ КИБЕРВОЙНЫ

Инюкин Н.И., Почепцова Д.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Большие языковые модели создают принципиально новые угрозы информационной безопасности за счет снижения порога входа в киберпреступность**.** Исследования в области кибербезопасности показывают [1-3], что большие языковые модели (LLM) эффективно компенсируют недостаток технических знаний у начинающих злоумышленников. Основным отличием современной ситуации от традиционных кибератак является возможность автоматической генерации сложных вредоносных программ и фишинговых кампаний с помощью языковых моделей [4, 5]. Однако исследования показывают, что помимо автоматизации известных векторов атак появляются эффекты, не характерные для традиционной киберпреступности [6-7]. Один из обнаруженных эффектов — возможность создания полиморфных вредоносных программ, адаптирующихся к системам защиты в реальном времени [2].

Механизм усиления кибератак с помощью LLM основан на многократном увеличении скорости и масштаба создания вредоносного контента. В основе усиления киберугроз с помощью LLM лежит увеличение скорости генерации фишинговых сообщений и вредоносного кода. [1, 3, 7]. Однако максимальный эффект достигается только при нетипичном [2] использовании языковых моделей, выходящем за рамки их стандартного применения. При нетипичном использовании языковых моделей эффективность кибератак возрастает многократно. Понимание данного механизма позволяет сформировать условия, при которых в работе систем кибербезопасности не возникают уязвимости, связанные с использованием LLM злоумышленниками.

Технологии защиты отстают в адаптации LLM по сравнению с инструментами атакующих [5]. Защитные системы не успевают за скоростью развития атакующих инструментов. Это создает асимметрию, когда для успешной атаки достаточно найти одну уязвимость, в то время как защитники должны закрыть все возможные векторы атак [1,7]. LLM порождают принципиально новые классы уязвимостей и рисков. Возникают специфические угрозы, связанные с самими языковыми моделями: утечки конфиденциальных данных, инъекции промптов, adversarial-атаки. Для их классификации и анализа разрабатываются специализированные фреймворки, такие как MITRE ATLAS.

Эффективное противодействие угрозам требует пересмотра стратегий информационной безопасности [3,7]. Необходима разработка комплексных мер, включающих внедрение корпоративных политик использования LLM, развертывание локальных моделей вместо облачных сервисов, и интеграцию ИИ-инструментов в процессы SOC для парирования автоматизированных атак [6]. Ожидается появление автономных ИИ-агентов с обеих сторон, что потребует постоянной адаптации методов защиты и развития предиктивных возможностей систем безопасности [3,6]. Организации, не внедряющие LLM в защитные механизмы, окажутся в уязвимом положении.

Таким образом, большие языковые модели (LLM) кардинально меняют ландшафт кибербезопасности, значительно снижая порог входа в киберпреступность и автоматизируя создание сложных вредоносных программ. Это приводит к появлению новых, нетипичных угроз, таких как полиморфный код и адаптивные атаки, а также создает асимметрию между скоростью развития атакующих и защитных инструментов [1–3]. Поэтому эффективное противодействие этим вызовам требует пересмотра стратегий безопасности, включая внедрение корпоративных политик, использование локальных моделей и интеграцию ИИ в системы защиты.

В качестве заключения можно сказать, что перспективы использования LLM связаны с непрерывной «гонкой вооружений» между ИИ атакующих и защитников, где организации, не адаптирующие LLM в свои защитные механизмы, окажутся в крайне уязвимом положении. Дальнейшие исследования и практическое применение защитных систем на основе ИИ являются ключевыми для повышения устойчивости к современным киберугрозам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MIT SloanManagementReview Исследование влияния генеративного ИИ на продуктивность работников знаний. 2023. 45 с.

2. OpenAI. Отчет о предотвращении злонамеренного использования ИИ государственными хакерами // Официальный блогOpenAI. — 2024. — Январь.

3. Арутюнов, В. В. Применение методов искусственного интеллекта для обеспечения информационной безопасности: результативность и востребованность итогов исследований российских учёных / В. В. Арутюнов // Научные и технические библиотеки. – 2020. – № 11. – С. 105-116.

4. HyasBlackMamba: AI-Augmented Cyber Attack Campaign // Technical Report. — 2023. — № 1.1. — С. 15-28.

5. GoogleDeepMind Исследование применения LLM для автоматизации SOC // Блог безопасности Google. — 2024. — Апрель.

6.Авдошин, С. М. Доверенный искусственный интеллект как способ цифровой защиты / С. М. Авдошин, Е. Ю. Песоцкая // Бизнес-информатика. – 2022. – № 2. – С. 62-73.

7. Афанасьева, Д. В. Применение искусственного интеллекта в обеспечении безопасности данных / Д. В. Афанасьева // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – №2. – С. 151-154.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE FRONTIER OF CYBERWAR

Inyukin N.I., Pocheptsova D.A.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article is devoted to the analysis of the impact of Large Language Models (LLM) on the cybersecurity landscape. The conducted vulnerability demonstrate how LLMs lower the barrier to entry for cybercrime and automate the creation of sophisticated threats. The practical implementation of the most dangerous attack vectors is not sufficiently explored in terms of the required expertise and resources, leaving some doubt about their immediate scalability and widespread adoption by average attackers.

УДК 004.8:004.056:004.738.5

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Киреева Н. В., Янов И.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Электронная коммерция (e-commerce) стала неотъемлемой частью инфокоммуникационных сетей, обеспечивающих взаимодействие миллионов пользователей и компаний. По данным Data Insight, в 2024 году российский рынок e-commerce составил 11,2 трлн руб. при 6,8 млрд заказов. В 2025 году прогнозируется рост до 12–16 трлн руб., а доля онлайн-продаж в ритейле может достичь 22% [1]. С ростом масштабов рынка увеличивается и число киберугроз, среди которых ключевыми являются мошеннические транзакции, кража персональных данных и атаки на инфраструктуру сетей. Это делает задачу защиты информации в инфокоммуникационных системах e-commerce одной из наиболее актуальных.

Традиционные системы защиты, основанные на статичных правилах, не успевают за развитием мошеннических схем. Машинное обучение позволяет анализировать большие массивы данных, выявлять сложные паттерны и обнаруживать аномалии в режиме реального времени. Основные направления применения машинного обучения включают:

- обнаружение мошеннических транзакций — бинарная классификация на основе методов случайного леса, градиентного бустинга и нейронных сетей;
- выявление новых угроз — использование алгоритмов без учителя (например, изолированный лес, кластеризация);
- гибридные системы — комбинация методов с учителем и без учителя для повышения точности.

В условиях инфокоммуникационных сетей, где транзакции проходят через распределённую инфраструктуру, важной задачей становится обработка данных в реальном времени и интеграция моделей в виде защищённых веб-сервисов.

Рост объёмов онлайн-торговли сопровождается ростом киберугроз. Согласно отчёту Group-IB, в 2023 году Россия вошла в десятку стран по уровню активности киберпреступников, а ущерб от интернет-мошенничества составил более 12 млрд рублей. В 2024 году Центробанк зафиксировал 16,1 млн кибератак, предотвращённых на сумму 4,9 трлн рублей, при этом мошенникам удалось похитить 9,3 млрд рублей. Также через Систему быстрых платежей в I квартале 2024 года было похищено 1,13 млрд рублей — почти вдвое больше, чем годом ранее. Это подтверждает необходимость внедрения интеллектуальных систем защиты, которые способны адаптироваться к новым угрозам.

Однако существуют и вызовы в современных условиях:

- необходимость наличия качественных обучающих выборок;

- проблема дисбаланса классов (доля мошеннических транзакций редко превышает 1%);
- интерпретируемость решений модели (Explainable AI);
- соблюдение нормативных требований (152-ФЗ «О персональных данных»).

Если говорить о будущей защиты информации в e-commerce, то оно связано с интеграцией:

- графового анализа сетей транзакций, что позволяет выявлять связанные мошеннические группы;
- глубокого обучения (Deep Learning) для анализа больших объёмов поведенческих данных;
- edge-аналитики в инфокоммуникационных сетях для ускорения обработки и снижения задержек.

Эти подходы позволят значительно повысить точность обнаружения мошенничества и укрепить доверие пользователей к онлайн-торговле.

Использование моделей машинного обучения в системах защиты информации инфокоммуникационных сетей e-commerce является ключевым направлением цифровой безопасности. Для России, где онлайн-торговля развивается особенно динамично, интеграция интеллектуальных методов защиты позволит не только сократить финансовые потери, но и повысить доверие пользователей к цифровой экономике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркетинговое исследование Интернет-торговля в России 2025. [Электронный ресурс]. / URL: https://datainsight.ru/DI_eCommerce_2025?utm_source (дата обращения: 07.09.2025).

INFORMATION PROTECTION IN E-COMMERCE INFOCOMMUNICATION NETWORKS USING MACHINE LEARNING MODELS

Kireeva N. V., Yanov I.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

E-commerce (e-commerce) is becoming the most important element of information and communication networks in Russia, where the market volume amounted to 11.2 trillion rubles. with 6.8 billion orders. Along with the growth of online commerce, the number of cyber threats is increasing, including fraudulent transactions and attacks on infrastructure. Traditional protection systems cannot cope with the dynamics of threats, so it is important to use machine learning models. The article discusses methods of classification, anomaly detection and hybrid approaches to improve the effectiveness of protection. Special attention is paid to statistics on Russia, the challenges of implementation and the prospects for using graph analysis and deep learning to ensure e-commerce security.

УДК 004.056.5:004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КИБЕРУГРОЗ

Киреева Н. В., Осипов А. С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современный ландшафт киберугроз характеризуется стремительной эволюцией. По данным Bi.Zone, в первом полугодии 2025 года доля разведки уязвимостей веб-приложений выросла более чем в пять раз (с 6,8% до 38,65%), тогда как атаки перебором паролей сократились почти в 2,5 раза. В России, по данным Positive Technologies [1], только за 2024 год число атак на государственные структуры выросло на 40%, а среднее время жизни уязвимостей в корпоративных системах составило менее 20 дней, что требует ускоренного внедрения проактивных средств защиты.

В зависимости от решаемой задачи и доступности размеченных данных, в современных системах обнаружения и предотвращения киберугроз (IDS/IPS) используется:

1. Обучение с учителем. Применяется для классификации известных типов атак. Эффективность: по данным «Лаборатории Касперского», модели на основе Random Forest и Gradient Boosting позволяют выявлять до 98% фишинг-атак, использование таких моделей в антифишинговых системах «Яндекс.Почты» снизило число успешных атак на пользователей более чем на 30% в 2024 г.

2. Обучение без учителя. Методы кластеризации и выявления аномалий применяются для zero-day угроз. По данным Group-IB, до 22% сетевых атак в 2024 г. носили уникальный характер и не имели сигнатур, что подтверждает необходимость unsupervised-подходов.

3. Гибридные методы. Эффективность: позволяют достичь recall >95% при снижении ложноположительных срабатываний до 5–7%. В рассматриваемой системе MaxPatrol SIEM (Positive Technologies) использовалась комбинация Random Forest и алгоритмов кластеризации, при этом сравнение эффективности гибридной модели с чистыми подходами показало увеличение полноты детектирования на 15% при сокращении FPR до 5-7%. В результате анализа было выявление 49 новых векторов атак, включая компрометацию учетных записей служб.

Кроме того, в работе был проведен анализ методов машинного обучения для систем обнаружения и предотвращения киберугроз (IDS/IPS), а именно, классические модели (Random Forest (RF), XGBoost), глубокие модели (CNN), аномальные (SVM).

В качестве основных метрик использовались точность (Precision), доля верных предсказаний (Accuracy), полнота (Recall), ложные положительные срабатывания (False Positive Rate (FPR)), двое последних особенно важны в IDS. Результаты исследования выявили, что показатели сильно зависят от датасета

(NSL-KDD, CIC-IDS2017, UNSW-NB15, ToN-IoT и т.д.), препроцессинга и балансировки классов.

Например, Random Forest (RF) показал более высокую точность и стабильность на структурированных фичах. Accuracy/Recall на исследуемых датасетах дал результат в диапазоне 80–99%; например — RF показал от 74% до 99% в исследованиях разных датасетов при умеренном времени обучения. XGBoost требует больше времени на тренинг; показатели ~80–99% в зависимости от задач.

Для выявления новых/редких атак наиболее подходят SVM, так как они дали высокую Recall при низком FPR в задачах с нормальным профилем; в частности, были получены результаты TN≈95.5%, FPR≈4.5% в веб-аномалиях. XGBoost и DL чаще дают лучшие результаты в исследованиях IDS, но выбор метода зависит от набора фич и используемого датасета.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: DL-модели уязвимы к направленным искажениям, XGBoost имеют свои уязвимости, но более интерпретируемы, поэтому рекомендуется комбинировать методы и применять постоянную переобучаемость моделей.

Методы машинного обучения играют ключевую роль в построении проактивных систем киберзащиты. Для России наибольшую эффективность представляют гибридные модели, интегрированные в отечественные SIEM-решения (например, MaxPatrol SIEM), которые демонстрируют высокую полноту детекции и минимизируют ложные срабатывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Positive Technologies. Интеграция ML-модуля в MaxPatrol SIEM. [Электронный ресурс]. / URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/about/news/v-reestre-rossijskogo-po-poyavilas-pervaya-siem-sistema-s-iskusstvennym-intellektom-max-patrol-siem/?utm (дата обращения: 15.09.2025).

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR CYBER THREAT DETECTION AND PREVENTION SYSTEMS

Kireeva N. V., Osipov A. S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article presents a comparative analysis of machine learning (ML) methods applied in modern intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS). Supervised learning, unsupervised learning, and hybrid models are considered. Special attention is given to their application in Russia in the context of import substitution and the specifics of national-level cyber threats. Based on 2024–2025 statistics, key trends are highlighted: the growth of web application vulnerability reconnaissance, a decline in password brute-force attacks, and an increase in unique zero-day attacks. The conclusion emphasizes the prospects of hybrid models and the necessity of centralized threat data collection in Russia.

УДК 004.8

ТРАНСФОРМАЦИЯ DEVOPS С ПОМОЩЬЮ AIOPS: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СБОЕВ И АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРОЙ

Захарова О.И., Третьяков Е.Ю., Аликберова Е.О.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Традиционный DevOps, сфокусированный на культуре сотрудничества, автоматизации доставки и непрерывной обратной связи, сегодня сталкивается с вызовом — экспоненциальным усложнением ИТ-ландшафта. DevOps (от англ. development & operations) — методология непрерывной разработки программного обеспечения. Микросервисные архитектуры, гибридные и мультиоблачные среды генерируют такие объемы телеметрийных данных, что их ручной анализ и оперативное реагирование становятся человечески невозможными. AIOps не заменяет DevOps, а усиливает его, переводя на новый уровень зрелости — от реактивного управления к проактивному и, в конечном итоге, к автономному. AIOps (Artificial Intelligence for IT Operations) — концепция управления ИТ-инфраструктурой, основанная на интеграции искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных.

Основная ценность AIOps для DevOps-процессов заключается в переходе от мониторинга к реальному прогнозированию. Вместо того чтобы ждать, когда система оповестит о сбое, AIOps-платформы используют машинное обучение и анализ временных рядов для выявления скрытых аномалий и тонких корреляций в данных, которые человек просто не в состоянии увидеть. Алгоритмы способны предсказать исчерпание ресурсов, деградацию производительности базы данных или потенциальный сбой в цепочке сервисов еще до того, как это заметят пользователи. Это позволяет командам перейти от тушения пожаров к упреждающим действиям — например, автоматически масштабировать ресурсы, перезапускать нестабильный микросервис или перенаправлять трафик до наступления инцидента. Таким образом, прогнозирование сбоев кардинально меняет парадигму, смещая фокус с исправления на предотвращение, что напрямую повышает доступность и отказоустойчивость сервисов.

Следующая этап — это автономное управление инфраструктурой, которое является логическим завершением принципов автоматизации, заложенных в DevOps. Речь идет о создании самоисцеляющихся систем, способных без вмешательства человека не только детектировать, но и парировать инциденты по заранее обученным и постоянно оптимизируемым сценариям. Например, система может автоматически откатить проблемный билд на предыдущую стабильную версию, изолировать скомпрометированный узел безопасности или выполнить сложную оркестрацию ресурсов в ответ на прогнозируемый всплеск нагрузки. Это высвобождает ценные человеческие ресурсы команды разработки и эксплуатации, позволяя им сконцентрироваться на стратегических задачах,

таких как проектирование архитектуры и создание новой бизнес-ценности, вместо рутинного операционного контроля.

Важно подчеркнуть, что трансформация DevOps с помощью AIOps — это не просто установка нового инструмента, а стратегический сдвиг в культуре и процессах. Кроме того, критически важным становится доверие команды к решениям, предлагаемым искусственным интеллектом, что требует прозрачности и объяснимости алгоритмов. Внедрение AIOps должно быть поэтапным, начиная с ассистирующего режима, где система рекомендует действия, и постепенно переходя к санкционированной автономии для определенных классов инцидентов. В итоге, синергия DevOps и AIOps создает основу для следующего поколения ИТ-операций — высокоадаптивных, устойчивых и самоуправляемых экосистем, которые способны надежно поддерживать цифровой бизнес в условиях постоянно растущей сложности и динамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. What is AIOps? [Электронный ресурс] / IBM. URL: https://www.ibm.com/topics/aiops (дата обращения: 05.11.2023).Rashleigh S.C. Origins and control of polarization effects in single-mode fibers // Journal of Lightwave Technology. 1983. Vol. 1, no. 2. P. 312–331.

2. AIOps Platform: Key Capabilities [Электронный ресурс] / Gartner. URL: https://www.gartner.com/reviews/market/aiops-platforms (дата обращения: 05.11.2023).

TRANSFORMATIONAL REAL-WORLD RESTAURANT DEVOPS WITH AIOPS: FAILURE PREDICTION AND AUTONOMOUS MANAGEMENT OF IT INFRASTRUCTURE

Zakharova O., Tretyakov E., Alikberova E.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This presentation explores the transformation of the DevOps methodology under the influence of AIOps — platforms that leverage artificial intelligence and machine learning to analyze IT infrastructure data. It demonstrates how AIOps enables a shift from reactive monitoring to proactive forecasting of failures and anomalies in complex hybrid environments. Special attention is given to the prospects of creating autonomous systems capable of self-healing and automatic incident resolution without human intervention. The analysis covers key benefits, including increased operational efficiency, enhanced service reliability, and the ability for teams to focus on strategic tasks. The essential prerequisites for successful implementation, such as data quality and building trust in AI-driven decisions, are also discussed.

УДК 621.391.63

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО УЧАСТКА ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Семдянов Д.С.

(Поволжский Государственный Университет Телекоммуникации и Информатики.)

В статье обсуждается моделирование регенерационного участка оптической транспортной сети с использованием технологии спектрального уплотнения DWDM. Представлена модель регенерационного участка в программе OptiSystem, исследованы ее нелинейные эффекты, а также их влияния на качество передачи сигнала.

Для достижения поставленных целей использовались методы компьютерного моделирования в программе OptiSystem, которая позволяет учитывать различные параметры оптического волокна, такие как затухание, дисперсия и нелинейные эффекты. В работе также применялись методы анализа спектральных характеристик сигнала, измерения коэффициента битовых ошибок (BER) и Q-фактора.

Разработана структурная схема регенерационного участка оптической транспортной сети, включающая передатчики, оптические усилители, волокна компенсации дисперсии и приёмники

Из графика, показаного на рисунке (а), можно увидеть, что изменение Q – фактора имеет нелинейный характер близок к степенному, при увеличении длинны регенерационного участков Q – фактор снижается, для мощности -3 дБм до 12.827 дБ, для мощности 9 дБм до 6.395 дБ. На входной мощности 9 дБ, показан наихудший результат, в связи с нелинейными эффектами. Минимальным уровнем передачи сигнала считается 6 дБ. Проанализировав графики, изображённые на рисунке (б) видно, что изменение Q – фактора имеет нелинейный характер близок к степенному. Становится понятно, что чем больше длина усилительных участков, тем хуже качество передачи, так как влияние от накопления остаточной хроматической дисперсии всё сильнее нарастает с каждым новым участком (рис. 1).

Из приведенных результатов моделирования можно сделать вывод, для минимизации негативного воздействия нелинейных эффектов необходимо тщательно подбирать параметры оптического тракта, такие как мощность сигнала, длина волокна и компенсация дисперсии. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров реальных оптических транспортных сетей, что позволит повысить их эффективность и надёжность.

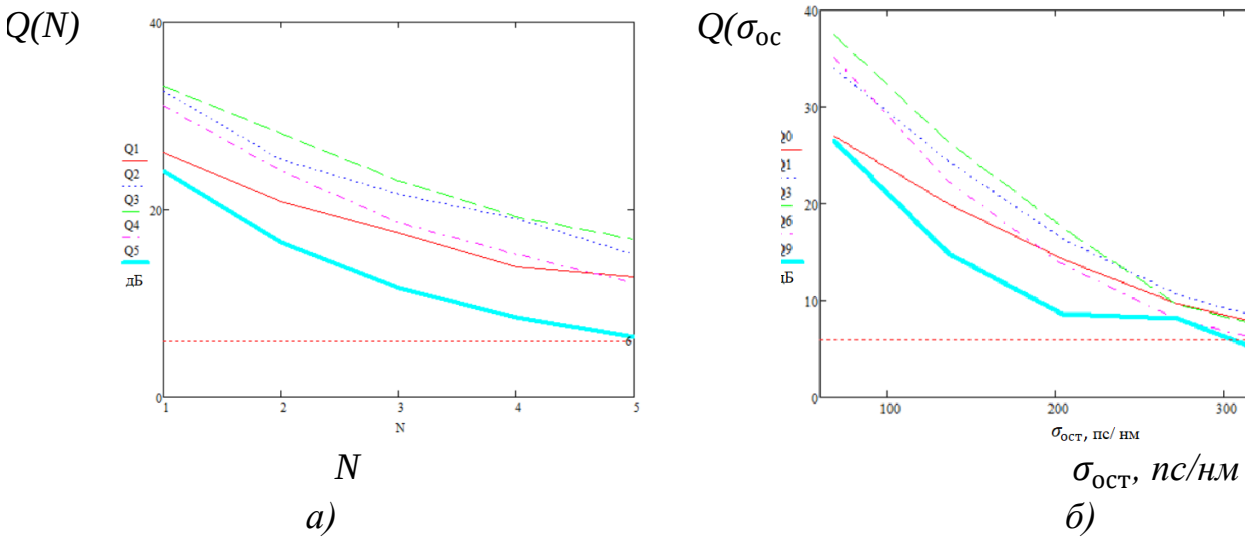


Рис. 1. Результаты моделирования при различных параметрах L: а) зависимость Q-фактора от количества усилительных участков, б) зависимость Q-фактора от остаточной хроматической дисперсии

Список литературы

1. Дашков, М. В. Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий по дисциплине «Моделирование систем связи на базе волоконно-оптических линий связи» [Текст]/ М. В. Дашков – Самара.: ПГУТИ, 2017. – 79 с.: ил., табл., рис.

2. Иванов, А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения [Текст]: учебное пособие для вузов/ А. Б. Иванов. - Москва : SYRUS Sistems, 1999. - 671 с.: ил., рис., граф. – (Учебное пособие для высших учебных заведений).

MODELING OF THE REGENERATION SECTION OF THE OPTICAL TRANSPORT NETWORK

Semdianov D.S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article presents the results of modeling the regeneration section of an optical transport network with DWDM technology in the OptiSystem environment. The influence of nonlinear effects and chromatic dispersion on the signal transmission quality, estimated through the Q factor and the bit error coefficient (BER), is investigated.

The analysis shows a nonlinear dependence of the deterioration of the Q-factor on an increase in the length of the regeneration sections and the input signal power. It has been found that an excessive increase in power (up to 9 dBm) leads to significant degradation of quality due to non-linearities, and the accumulation of residual dispersion reduces efficiency with an increase in the number of amplification sites.

УДК 004.738.5

БЕЗОПАСНАЯ И НАДЕЖНАЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНА В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

Галеев З.З., Аккучукова А.И., Кабиров А.А., Дерябин Н.В., Даукаева Д.И.
(Уфимский университет науки и технологий)

Интернет вещей (IoT) представляет собой сеть взаимосвязанных устройств, оснащенных встроенными датчиками, ограниченной памятью для хранения внутреннего состояния и собранных данных, а также радиочастотными компонентами для беспроводной связи. Успешная интеграция этих технологий делает объекты "умными", что особенно актуально для телемедицины, где IoT-устройства обеспечивают непрерывный мониторинг здоровья пациентов. В системах телемедицины носимые датчики и фитнес-трекеры взаимодействуют с сетевыми платформами, отслеживая жизненно важные показатели, предупреждая о рисках и передавая данные медицинскому персоналу для удаленной диагностики и лечения. Это способствует повышению эффективности медицинской помощи, снижению затрат и улучшению доступности услуг, особенно в удаленных районах или для пациентов с хроническими заболеваниями. Однако реализация IoT в телемедицине требует решения ряда вызовов, чтобы обеспечить безопасность и надежность системы.

Ключевые характеристики IoT в контексте телемедицины включают взаимосвязанность и совместимость, где необходимо интегрировать разнообразные медицинские устройства от разных производителей в единую платформу; гетерогенность, охватывающую различия в аппаратных структурах, протоколах связи и сетевых топологиях; безопасность, поскольку нормативные требования часто запрещают передачу конфиденциальных медицинских данных по незащищенным каналам; качество обслуживания (QoS), требующее высокой пропускной способности для передачи больших объемов данных между устройствами и серверами; динамические изменения, позволяющие адаптацию устройств к реальным условиям; и масштабируемость, обеспечивающую расширение системы для большего числа пациентов и устройств. IoT облегчает взаимодействие между цифровыми артефактами и пользователями в физическом мире, но поскольку человек является неотъемлемой частью, риски сбоев или утечек личных медицинских данных подчеркивают необходимость строгих мер конфиденциальности и безопасности.

Модель безопасности для IoT в телемедицине охватывает защиту коммуникаций, обеспечивая целостность и конфиденциальность взаимодействующих сущностей; функциональные компоненты, такие как аутентификация, управление идентификацией, доверие и репутация; а также авторизацию доступа к данным. В данной работе предлагается новая архитектура безопасной и надежной телемедицины, основанная на группировке функциональных компонентов в единый блок безопасности, эффективном управлении конфиденциальностью данных пациентов и обеспечении устойчивой работы системы в любых условиях. Система включает защищенную

коммуникацию с использованием шифрования на основе атрибутов, в частности протокола Ciphertext-Policy Attribute-Based Encryption (CP-ABE) для шифрования медицинских данных, AES-шифрования для защиты передаваемой информации и симметричных ключей для охраны схемы ABE. Для авторизации применяется инфраструктура открытых ключей (PKI), которая повышает уровень аутентификации, защищает обмен данными в незащищенной среде и использует цифровые сертификаты для подтверждения подлинности устройств. Алгоритм авторизации состоит из четырех этапов: получение параметров CP-ABE, генерация симметричного ключа, установление сессии с ABE-прокси и обмен зашифрованными данными. Эта архитектура направлена на создание надежной экосистемы телемедицины в IoT, минимизируя уязвимости и способствуя безопасному, ориентированному на пациента медицинскому обслуживанию. Дальнейшие исследования могут сосредоточиться на практической реализации и оценке эффективности в клинических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Habibzadeh, K. Dinesh, O. Rajabi Shishvan, A. Boggio-Dandry, G. Sharma and T. Soyata, "A Survey of Healthcare Internet of Things (HIoT): A Clinical Perspective," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 1, pp. 53-71, Jan. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2019.2946359.

2. J. Granjal, E. Monteiro and J. Sá Silva, "Security for the Internet of Things: A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 3, pp. 1294-1312, thirdquarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2388550.

SECURE AND RELIABLE TELEMEDICINE IN THE INTERNET OF THINGS

Galeev Z.Z., Akkuchukova A.I., Kabirov A.A., Deryabin N.V., Daykaeva D.I.
(Ufa University of Science and Technology)

The Internet of Things (IoT) enhances telemedicine through interconnected devices for continuous health monitoring, improving efficiency and accessibility despite challenges like security, heterogeneity, and scalability. This paper introduces a secure architecture consolidating security components, employing CP-ABE for data encryption, AES for transmission, and PKI for authentication. The four-stage authorization process ensures resilience, minimizing vulnerabilities for patient-centered care. Future studies should validate implementations.

УДК 616-083.98

ТЕЛЕМЕДИЦИНА: ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ

Галеев З.З., Аккучукова А.И., Кабиров А.А., Дерябин Н.В., Даукаева Д.И.
(Уфимский университет науки и технологий)

В последние годы телемедицина активно развивается и интегрируется в клиническую практику. Телемедицина представляет собой область медицины, использующую телекоммуникационные и информационные технологии для предоставления консультационных и лечебных услуг пациентам независимо от их географического расположения. Объектом телемедицины является передача и обработка медицинской информации посредством телекоммуникационных каналов и компьютерных систем.

Существуют различные типы телемедицинских процедур, включая консультации с применением мультимедийных технологий. Процесс передачи и обработки медицинских данных характеризуется типом передаваемой информации и используемыми средствами передачи. Поскольку телемедицинские услуги базируются на телекоммуникационных технологиях, их эффективность ограничена пропускной способностью каналов передачи данных.

В зависимости от требований к пропускной способности применяются различные технологии нижних уровней модели OSI. Широкое распространение и низкая стоимость обеспечивают использование традиционных телефонных линий, однако ограниченная пропускная способность медных линий не позволяет эффективно передавать большие объемы данных.

Спутниковые системы связи обеспечивают высокоскоростную передачу данных на большие расстояния, что особенно актуально для объектов с ограниченным доступом к фиксированным сетям (например, морские и авиационные платформы). Несмотря на высокие капитальные и эксплуатационные затраты, экономия достигается при совместном использовании ресурсов несколькими пользователями. Повышение эффективной пропускной способности достигается не только за счет расширения каналов связи, но и посредством оптимизации структуры передаваемых данных, включая применение алгоритмов сжатия.

Цифровая сеть с интегрированными услугами (ISDN) является гибкой платформой для реализации телемедицинских приложений. Для оптимизации затрат и ресурсов возможно совместное использование сетевой инфраструктуры с другими организациями, организуемое по временным интервалам (пиковое и круглосуточное использование). Поскольку стоимость корпоративных каналов связи возрастает нелинейно с увеличением пропускной способности, совместное использование ресурсов является экономически целесообразным.

Одной из ключевых задач телемедицины является повышение эффективности использования квалифицированных медицинских кадров при дистанционной диагностике. Рутинные операции по обработке медицинских данных могут автоматизироваться с помощью систем поддержки принятия

решений, основанных на математических моделях, что позволяет специалистам сосредоточиться на сложных диагностических задачах. Использование формализованных математических методов способствует объективизации диагностических выводов.

Примером оптимизации является применение автоматизированных систем удаленной диагностики, базирующихся на методах распознавания электрофизиологических сигналов. Рассматривается задача автоматизированного распознавания стадий сна на основе анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ), передаваемой по каналу связи. Исследование структуры сна и его нарушений имеет важное значение для экспериментальной и клинической медицины, особенно при диагностике заболеваний центральной нервной системы.

При функциональных расстройствах нервной системы и психических заболеваниях жалобы на нарушения сна часто являются основным или единственным симптомом. Особое внимание уделяется изучению сна у пациентов с ишемической болезнью сердца в кардиологических клиниках, поскольку ночные нарушения сердечного ритма и инфаркты миокарда представляют серьезную опасность и требуют своевременной диагностики и мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee, J., Talai-Hoey, A., Seal, H., Ray, P., and McIntyre, K. R. (2013). Introduction of e-health by medical professionals: a systematic review of the literature. Interactive Journal of Medical Research, 2(1), e7.

2. Tulu, B., Chatterjee, S., and Maheshwari, M. (2007). Telemedicine taxonomy: a classification tool. Telemedicine and e-health, 13 (3), 349-358.

3. Ramesh, M. V. (2009). Design, development and implementation of a wireless sensor network for landslide detection. Special Networks, 7 (5), 815-829.

TELEMEDICINE: TECHNOLOGIES, APPLICATIONS AND AUTOMATION IN MODERN MEDICINE

Galeev Z.Z., Akkuchukova A.I., Deryabin N.V., Daykaeva D.I.
(Ufa University of Science and Technology)

This study examines the evolution of remote healthcare using telecommunications and digital technologies for distant patient consultations and treatments. It discusses remote procedures, transmission methods like phone lines, satellites, and ISDN, along with bandwidth limitations. Cost-saving strategies include shared networks, data compression, and resource optimization. Automation via mathematical models enhances diagnostics, exemplified by automated sleep stage detection through EEG analysis for neurological and cardiac disorders, improving expert efficiency.

УДК 535.417.2

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО SRR РЕЗОНАТОРА

Чернов С.А., Фархутдинов Р.В.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В статье рассматриваются комплементарные SRR-резонаторов (CSRR). Представлено моделирование таких резонаторов, проведена оценка влияния геометрических параметров.

1. Актуальность

В последнее время развитие СВЧ технологий идет активно, открывая новые возможности применения для контроля и анализа материалов. Резонаторные способы измерения диэлектрической проницаемостей различных веществ на СВЧ широко используются для исследования материалов и их характеристик [1]. Взаимодействие электромагнитного излучения с образцом позволяет получить информацию о его составе и структуре, провести оценку качества и однородности материала, а также проводить исследование материалов, механических напряжений, электрических и магнитных полей. Особым интересом в данной обрасти являются датчики на основе комплементарных SRR-резонаторов. Разработка и проектирование данных датчиков представляет собой научный и практический интерес в микроволновых технологиях, так как обладают высокой чувствительностью, малыми габаритами и возможностью работы в широкой полосе частот.

2. Моделирование и оценка геометрических параметров на характеристики CSRR резонатора с квадратными кольцами.

Рассмотрим проектирование комплементарного SRR с квадратным и с круглым кольцом. Рабочий диапазон от 1 ГГц до 4,5 ГГц. Рассчитаем параметры возбуждающего полоска при требуемом сопротивлении полоска Z = 50 Ом.

Основываясь на полученных расчетах, собираем комплементарного SRR с квадратным и круглым кольцом, изображенный на рисунке 1, с шириной внутренней и внешней щели (wb и wm) 1,91 мм, шириной кольца (s) 2 мм, с шириной внешнего и внутреннего зазора 1 мм, толщиной подложки из FR-4 1 мм, толщина проводника (медь) 0,035 мм.

а) б)

Рис. 1. Комплементарный SRR с круглым (а) и с квадратным(б) кольцом

Рассмотрим влияние изменения геометрии CSRR с квадратным и круглым кольцом на его характеристики. При изменении параметров CSRR резонатора, изменяются емкость и индуктивность эквивалентной схемы. Мы рассмотрим изменения ширины зазора большого кольца, зазора малого кольца, ширины большого и малого полоска, и самого кольца. Результаты оценки влияния отображены в таблице 1.

Таблица 1

Оценка влияния геометрических параметров на характеристики CSRR резонатора

Название параметра	CSRR с круглым кольцом	CSRR с квадратным кольцом
Ширина внешней щели (wb)	Добротность первого резонанса и второго резонанса уменьшается, амплитуда первого резонанса возрастает, амплитуда второго резонанса равномерна	Амплитуда первого резонанса возрастает, а амплитуда второго равномерна, добротность первого и второго резонанса уменьшается.
Ширина внутренней щели (wm)	Добротность первого и второго резонанса незначительно изменяются. Амплитуды возрастают	Амплитуда первого резонанса дугообразна, у второго резонанса растет. Добротность растет.
Ширина кольца (s)	Добротность первого резонанса незначительно уменьшается, добротность второго резонанса равномерна, амплитуда первого и второго возрастает.	Амплитуды первого и второго резонанса возрастают, добротность первого резонанса уменьшается, добротность второго резонанса равномерна.
Ширина внутреннего зазора (sm)	Добротность первого и второго резонанса ведет себя равномерно, амплитуда первого резонанса равномерна, амплитуда ведет себя равномерно	Амплитуда первого и второго резонанса возрастают. Добротность второго резонанса уменьшается, добротность первого возрастает.
Ширина внешнего зазора (sb)	Добротность первого и второго резонанса равномерна, амплитуда первого резонанса незначительно возрастает, амплитуда второго резонанса незначительно убывает.	Амплитуда первого и второго резонанса возрастают, добротность первого и второго резонанса равномерна

3. Заключение

Было проведено моделирование CSRR-резонаторов с квадратной и круглой формой кольца и исследовано влияния геометрических параметров резонатора на величину коэффициента передачи и добротности резонансной характеристики

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Универсальный метод измерения удельной плотности веществ и материалов на кольцевом резонаторе / А. А. Чесноков, А. Р. Насыбуллин, Т. М. Ишкаев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 7. – С. 306-310.

INFLUENCE OF THEIR GEOMETRIC PARAMETERS OF COMPLEMENTARY SRR RESONATOR

Chernov S.A., Fakhrutdinhov R. V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The article examines complementary square ring resonator (CSRR) structures. It presents the calculation and modeling of such devices and evaluates the influence of their geometric parameters.

УДК 004.056.5:004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КИБЕРУГРОЗ

Киреева Н. В., Осипов А. С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Современный ландшафт киберугроз характеризуется стремительной эволюцией. По данным Bi.Zone, в первом полугодии 2025 года доля разведки уязвимостей веб-приложений выросла более чем в пять раз (с 6,8% до 38,65%), тогда как атаки перебором паролей сократились почти в 2,5 раза. В России, по данным Positive Technologies [1], только за 2024 год число атак на государственные структуры выросло на 40%, а среднее время жизни уязвимостей в корпоративных системах составило менее 20 дней, что требует ускоренного внедрения проактивных средств защиты.

В зависимости от решаемой задачи и доступности размеченных данных, в современных системах обнаружения и предотвращения киберугроз (IDS/IPS) используется:

1. Обучение с учителем. Применяется для классификации известных типов атак. Эффективность: по данным «Лаборатории Касперского», модели на основе Random Forest и Gradient Boosting позволяют выявлять до 98% фишинг-атак, использование таких моделей в антифишинговых системах «Яндекс.Почты» снизило число успешных атак на пользователей более чем на 30% в 2024 г.

2. Обучение без учителя. Методы кластеризации и выявления аномалий применяются для zero-day угроз. По данным Group-IB, до 22% сетевых атак в 2024 г. носили уникальный характер и не имели сигнатур, что подтверждает необходимость unsupervised-подходов.

3. Гибридные методы. Эффективность: позволяют достичь recall >95% при снижении ложноположительных срабатываний до 5–7%. В рассматриваемой системе MaxPatrol SIEM (Positive Technologies) использовалась комбинация Random Forest и алгоритмов кластеризации, при этом сравнение эффективности гибридной модели с чистыми подходами показало увеличение полноты детектирования на 15% при сокращении FPR до 5-7%. В результате анализа было выявление 49 новых векторов атак, включая компрометацию учетных записей служб.

Кроме того, в работе был проведен анализ методов машинного обучения для систем обнаружения и предотвращения киберугроз (IDS/IPS), а именно, классические модели (Random Forest (RF), XGBoost), глубокие модели (CNN), аномальные (SVM).

В качестве основных метрик использовались точность (Precision), доля верных предсказаний (Accuracy), полнота (Recall), ложные положительные срабатывания (False Positive Rate (FPR)), двое последних особенно важны в IDS. Результаты исследования выявили, что показатели сильно зависят от датасета

(NSL-KDD, CIC-IDS2017, UNSW-NB15, ToN-IoT и т.д.), препроцессинга и балансировки классов.

Например, Random Forest (RF) показал более высокую точность и стабильность на структурированных фичах. Accuracy/Recall на исследуемых датасетах дал результат в диапазоне 80–99%; например — RF показал от 74% до 99% в исследованиях разных датасетов при умеренном времени обучения. XGBoost требует больше времени на тренинг; показатели ~80–99% в зависимости от задач.

Для выявления новых/редких атак наиболее подходят SVM, так как они дали высокую Recall при низком FPR в задачах с нормальным профилем; в частности, были получены результаты TN≈95.5%, FPR≈4.5% в веб-аномалиях. XGBoost и DL чаще дают лучшие результаты в исследованиях IDS, но выбор метода зависит от набора фич и используемого датасета.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: DL-модели уязвимы к направленным искажениям, XGBoost имеют свои уязвимости, но более интерпретируемы, поэтому рекомендуется комбинировать методы и применять постоянную переобучаемость моделей.

Методы машинного обучения играют ключевую роль в построении проактивных систем киберзащиты. Для России наибольшую эффективность представляют гибридные модели, интегрированные в отечественные SIEM-решения (например, MaxPatrol SIEM), которые демонстрируют высокую полноту детекции и минимизируют ложные срабатывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Positive Technologies. Интеграция ML-модуля в MaxPatrol SIEM. [Электронный ресурс]. / URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/about/news/v-reestre-rossijskogo-po-poyavilas-pervaya-siem-sistema-s-iskusstvennym-intellektom-max-patrol-siem/?utm (дата обращения: 15.09.2025).

COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR CYBER THREAT DETECTION AND PREVENTION SYSTEMS

Kireeva N. V., Osipov A. S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article presents a comparative analysis of machine learning (ML) methods applied in modern intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS). Supervised learning, unsupervised learning, and hybrid models are considered. Special attention is given to their application in Russia in the context of import substitution and the specifics of national-level cyber threats. Based on 2024–2025 statistics, key trends are highlighted: the growth of web application vulnerability reconnaissance, a decline in password brute-force attacks, and an increase in unique zero-day attacks. The conclusion emphasizes the prospects of hybrid models and the necessity of centralized threat data collection in Russia.

УДК 621.3.049.77

РАЗРАБОТКА МАКРОМОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ESD-ЗАЩИТЫ В СРЕДЕ ОТКРЫТОГО СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПО

Зуев Д.С., Чернова С.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Аннотация. Полупроводниковые диоды и GGMOS-транзисторы являются ключевыми элементами защиты от электростатических разрядов (ESD) в КМОП ИМС. В работе представлена разработка макромоделей данных компонентов в среде открытого схемотехнического ПО (Qucs-S, Ngspice). Модели предназначены для анализа ESD-стойкости на ранних этапах проектирования.

Ключевые слова: электростатический разряд; ESD-защита; схемотехническое моделирование; макромодели; GGMOS; TLP.

Введение. Стандартные SPICE-модели диодов и MOSFET [1] не учитывают специфику работы в режимах ESD, характеризующихся экстремально высокими плотностями токов и активацией паразитных структур. Целью работы является создание и практическая реализация адекватных макромоделей ESD-диода и GGMOS-транзистора с использованием открытого ПО.

Для преодоления ограничений стандартной диодной модели предложена макромодель (Рис. 1). Её ключевой элемент поведенческое сопротивление R_{tlp}.

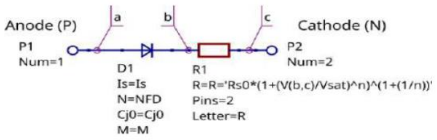


Рис. 1. Принципиальная схема макромодели ESD-диода

Математическая модель сопротивления R_{tlp} описывается уравнением:

$$R_{tlp} = R_{s0}\left(1 + \left(\frac{V}{V_{sat}}\right)^{n}\right)^{1+\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Параметры модели (1) (R_{s0}, V_{sat}, n) экстрагируются из TLP-характеристик. Сравнительный DC-анализ (Рис. 2) демонстрирует значительно лучшее соответствие усовершенствованной макромодели экспериментальным данным по сравнению со стандартной SPICE-моделью [2].

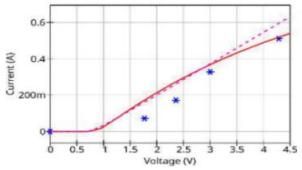


Рис. 2. Сравнительные ВАХ: макромодель (–), SPICE (- -), TLP-данные(*)

Построение макромодели GGMOS-транзистора [3]. Макромодель GGMOS (Рис. 3) реализована как параллельное соединение MOS-транзистора (BSIM модель) и паразитного NPN-биполярного транзистора (модель Гуммеля-Пуна).

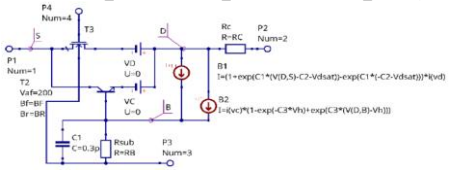


Рис. 3. Эквивалентная схема макромодели GGMOS-прибора

Ключевые компоненты модели: Зависимые источники тока B_1, B_2 Моделируют ток ударной ионизации I_{ii} и процесс отпирания паразитного BJT, резисторы R_c, R_{sub} для учета сопротивления структур, коэффициенты умножен. M_1, M_2: Рассчитываются по формулам как функции напряжений V_{ds} и V_{db}.

Для калибровки и верификации модели использовалась схема, воспроизводящая условия TLP-тестирования. Процедура калибровки параметров (C_1, C_2, C_3) выполнялась итеративно для достижения соответствия экспериментальным TLP-характеристикам (Рис. 4).

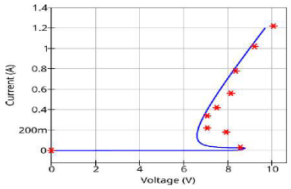


Рис. 4. Сравнение модельной ВАХ (линия) и TLP-данных (точки).

После калибровки модель показала хорошее соответствие экспериментальным данным. Небольшие расхождения (~10мА) объясняются ограничениями измерительного оборудования и различиями в импедансе линии.

Заключение. Разработанные макромодели адекватно описывают поведение элементов ESD-защиты и могут использоваться для оценки ESD-стойкости ИМС на этапе проектирования. Основное ограничение - сложность параметрической экстракции, требующая точной настройки и экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Howard T. Russell Jr., OPAL Engineering, The SPICE Diode Model 1991.
2. James E., Joseph C., Greeg D., ESD Design and Analysis Handbook 2003.
3. Oleg S., Hossein S., Manoj S., ESD Protection Device and Circuit Design 2008.

DEVELOPMENT OF MACROMODELS OF ESD PROTECTION ELEMENTS IN OPEN-END SCHEMATIC DESIGN SOFTWARE

Zuev D.S., Chernova S.V.
(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. Semiconductor diodes and GGMOS transistors are key elements of electrostatic discharge (ESD) protection in CMOS integrated circuits. This paper presents the development of macromodels of these components in open-source circuit design software. The models are intended for ESD robustness analysis at the early design stages.

УДК 004.942.032.26

АНСАМБЛИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БРАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Зуев Д.С., Малахов С.В.
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Аннотация. Исследование посвящено решению проблемы управления автоматизированными производствами микроэлектроники, осложненной множеством разнородных факторов, ведущих к браку. Для анализа данных и построения прогнозов применяется ансамбль нейронных сетей, что позволяет идентифицировать критические факторы и строить прогностические модели.

Ключевые слова: выходной контроль качества, прогностическое моделирование, нейросетевой ансамбль, микроэлектроника.

Введение. Основными причинами низкого выхода годной продукции в микроэлектронике являются дефекты материалов, ошибки сборки, нарушения техпроцессов и износ оборудования. Цель работы — разработка методов обработки данных на основе результатов выходного контроля для прогнозирования брака.

Особенности обработки данных о дефектах. Для формализации дефекта используется модель, представляющая набор характеристик и их значений. Для выявления скрытых зависимостей применяется метод весовых коэффициентов [1]. Для распознавания дефектов используется метод рекуррентной конъюнкции [2].

Моделирование состояния производств. На основе кластеризации данных строится иерархическая модель состояний производства (1) [3]. Модель служит основой для алгоритмов адаптивной обработки данных, динамически выбирающих методы в зависимости от текущего и целевого состояний.

$$\begin{cases} S_1 : \{D_1, .., D_k\} \Rightarrow M_1, \\ S_i : \{D_1, .., D_m\} \Rightarrow M_i, \\ S_n : \{D_1, .., D_n\} \Rightarrow M_n, \end{cases} \quad (1)$$

где S_i —состояние производства; M_i —иерархический уровень состояния.

Разработка прогностической модели. Модель состоит из трех сегментов:

1. Оценка совокупного влияния ключевых факторов.
2. Прогнозирование критических параметров.
3. Идентификация критических факторов и формирование контура управления.

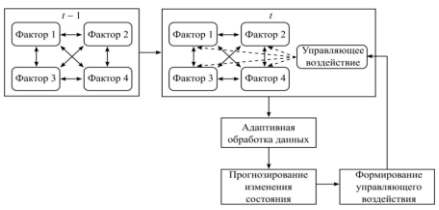


Рис. 1. Обобщенная схема прогностической модели состояния производства

Переход системы между состояниями описывается с помощью цепей Маркова (рис. 1). Взаимовлияние факторов кодируется в оценочной матрице *M*. Расчет весовых коэффициентов для ансамбля нейронных сетей выполняется по формуле [4]. Для повышения точности предлагается использовать методы роевого интеллекта совместно с обратным распространением ошибки.

Определение критических факторов. Для оценки влияния факторов используется коэффициент чувствительности (8) [5].

$$S\big(\varphi(t), a_i(t)\big) = \frac{\Delta\varphi(t)}{\Delta a_i(t)}\frac{a_i(t)}{\varphi(t)}, \qquad S\big(\mu(t), a_i(t)\big) = \frac{\Delta\mu(t)}{\Delta a_i(t)}\frac{a_i(t)}{\mu(t)} \qquad (2)$$

Анализ коэффициента чувствительности S позволяет определить характер и силу влияния фактора на состояние производства:

- $S < 0$ - негативное влияние (рост фактора снижает показатели)
- $S > 0$ - позитивное влияние (рост фактора увеличивает показатели)

На основе допустимых значений изменений факторов устанавливаются пороги для принятия решений о необходимости корректирующих воздействий.

Заключение. Предложенные подходы позволяют повысить процент выхода годных изделий за счет идентификации критических факторов и формирования эффективных управляющих воздействий. Использование ансамбля нейронных сетей и адаптивных методов обработки данных открывает возможности для повышения эффективности управления производственными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Бандурина, Управление качеством. «Корпоративный менеджмент». 2023
2. Данилевич С. Б., Третьяк В. В. Выходной контроль: влияние индекса качества продукции на риски принятия ошибочных решений. Компетентность. 2022
3. Емельянова М. Г. Обнаружение поверхностных дефектов сварных соединений при визуальном контроле методами машинного зрения. 2023
4. Прыткова Е. А., Давыдов В. М. Анализ применения иерархических нейросетевых методов в контроле качества. Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2023
5. Шевнина Ю. С., Метод кластерного анализа гетерогенных данных.

NEURAL NETWORK ENSEMBLES FOR PREDICTIVE MODELING OF DEFECTS IN MICROELECTRONICS MANUFACTURING

Zuev D.S., Malakhov S.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. This study addresses the problem of managing automated microelectronics production, which is complicated by multiple factors leading to defects. A neural network ensemble is used to analyze data and generate forecasts, enabling the identification of critical factors and the construction of predictive models.

УДК 621.396.41

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АННОТИРОВАННЫХ ДАТАСЕТОВ ДРЕВЕСНЫХ КРОН ПО РАЗНОВЫСОТНЫМ БПЛА-СНИМКАМ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

Зуев Д.С., Хлесткин А.Ю..
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Аннотация. Картирование деревьев — востребованная, но трудоемкая задача. В работе предложен программный инструмент для создания датасетов изображений крон деревьев с БПЛА для обучения нейросетей. Набор включает RGB-снимки разрешением 1–10 см. Разработана методика выравнивания изображений, снятых с разных высот, для обеспечения единообразия данных. Контуры хвойных крон выделялись полуавтоматически. Полученный датасет пригоден для обучения моделей машинного обучения и алгоритмов компьютерного зрения.

Ключевые слова: электростатический разряд; ESD-защита; схемотехническое моделирование; макромодели; GGMOS; TLP.

Введение. БПЛА и искусственный интеллект активно применяются в мониторинге лесов, преодолевая недостатки традиционных методов. Для обучения алгоритмов требуются репрезентативные данные. Цель работы — создание специализированного набора изображений крон, снятых с различных высот, для задач распознавания образов [1].

Применение БПЛА для детекции крон деревьев. БПЛА обеспечивают детальные снимки, менее зависимые от погоды, чем спутниковые. Высота полета определяет разрешение. Для выделения крон применяются алгоритмы, требующие наборов данных.

Собран датасет из 700 изображений хвойных деревьев (кедр, сосна, ель), снятых с высот 20–100 м. Аннотирование контуров крон выполнялось в программе Make Sense (рис. 1) с сохранением в форматах COCO JSON, YOLO[2].

Рис. 1. Выделение кроны дерева в программе MakeSense

Для повышения надежности сегментации предложено выравнивание масштаба изображений крон на заданной высоте с использованием билинейной интерполяции.

Метод масштабирования на основе Гауссовой пирамиды. Для приведения аэрофотоснимков к единой эталонной высотной сетке применялся аппарат Гауссовой пирамиды [3]. Данный метод эффективен для многомасштабного анализа и пространственного преобразования изображений.

Гауссова пирамида представляет собой последовательность изображений, в которой каждый последующий уровень имеет сниженное пространственное разрешение. Базовый уровень (q=0) соответствует исходному изображению.

Построение описывается рекурсивно:

$G(0)(x, y) = I(x, y)$, для уровня $q = 0$,

Для последующих уровней ($0 < q < N$) применяется операция свертки с последующей субдискретизацией (1):

$$G(q)(x,y) = \sum_{-2}^{2}\sum_{-2}^{2} W(m,n) \cdot G(q-1)(2x+m, 2y+n) \qquad (1)$$

где 0<q<N,W(m,n)–весовая матрица, обладающая свойством симметричн.

Использование Гауссовой пирамиды обеспечивает сохранение пространственных характеристик, минимизацию aliasing-эффектов, вычислительную эффективность и работу с разными исходными разрешениями.

Заключение. Таким образом в статье описана методика составления наборов изображений крон для обучения нейронных сетей на основе данных аэрофотосъемки с БПЛА. Созданный датасет из 700 изображений предназначен для автоматизации интерпретации снимков высокого разрешения. Предложен метод выравнивания масштаба изображений с использованием Гауссовой пирамиды для повышения надежности сегментации. В дальнейших исследованиях планируется разработать алгоритм аннотации с записью таксационных параметров для ускорения обработки данных лесных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kataev M.Y., Method-ology and software for atmospheric correction of unmanned aerial vehicle images in the task of safe vegetation location. 2021.
2. Szeliski R. Algorithms and applica-tions. Springer Nature, 2022.
3. Quan Y., Zhang D., Zhang L., Tang J. Centralized Feature Pyramid for Object Detection. IEEE Transactions on Image Processing, 2023.

METHODOLOGY FOR CONSTRUCTING ANNOTATED DATASETS OF TREE CROWNS FROM MULTI-ALTITUDE UAV IMAGES FOR SEMANTIC SEGMENTATION

Zuev D.S., Khlestkin A.Yu.
(Volga Region State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. Tree mapping is a popular but labor-intensive task. This paper proposes a software tool for creating datasets of tree crown images captured by drones for training neural networks. The dataset includes RGB images with a resolution of 1–10 cm. A method for aligning images taken from different heights was developed to ensure data consistency. Conifer crown contours were delineated semi-automatically. The resulting dataset is suitable for training machine learning models and computer vision algorithms.

УДК 004.942

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

Богданова Е.И., Задисенцев Д.А., Гамалей К.А., Петрякова В.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Целью работы является создание веб-интерфейса для симулятора квантовых компонентов, обеспечивающего интерактивное моделирование квантовых процессов, настройку параметров системы и визуализацию результатов. В докладе будет представлен обзор существующих решений и предложения для создания нового веб-интерфейса.

Современный этап развития науки и технологий характеризуется активным прогрессом в области квантовых технологий, что обуславливает потребность в доступных программных средствах для моделирования квантовых систем в образовательных и исследовательских целях. Существующие решения, такие как *IBM Quantum Platform* [1], *QuTiP* [2] или *Qiskit* [3] предоставляют широкий функционал для проведения квантовых вычислений и симуляций, однако их использование требует высокой технической подготовки и не всегда обеспечивает интуитивно понятное визуальное представление процессов на уровне отдельных квантовых компонентов. Кроме того, большинство подобных платформ ориентировано преимущественно на специалистов, что затрудняет их применение в учебных курсах и самостоятельном освоении основ квантовых технологий. Платформа *IBM Quantum Platform* [1] предоставляет доступ к реальным квантовым вычислительным устройствам через облако и позволяет выполнять эксперименты на уровне квантовых схем, однако её интерфейс ориентирован на профессиональных пользователей и не обеспечивает детализированной визуализации работы отдельных квантовых компонентов. Пакет *QuTiP (Quantum Toolbox in Python)* [2] представляет собой мощный инструмент для численного решения уравнений Шрёдингера и моделирования открытых квантовых систем, но он функционирует в консольном режиме и требует владения языком Python, что ограничивает его использование в образовательных целях. *Qiskit* [3], в свою очередь, является одной из наиболее распространённых библиотек для построения квантовых схем и выполнения симуляций, но также ориентирован преимущественно на разработчиков и исследователей, предоставляя лишь ограниченные средства интерактивной визуализации и не предлагая полноценного веб-интерфейса для интуитивного взаимодействия. Таким образом, актуальной задачей является разработка программного средства, объединяющего вычислительные возможности существующих симуляторов с удобством и наглядностью веб-приложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IBM Quantum Platform [Электронный ресурс] / URL: https://quantum.cloud.ibm.com (дата обращения: 10.10.2025 г.).
2. QuTiP: Quantum Toolbox in Python [Электронный ресурс] / URL: https://qutip.org (дата обращения: 10.10.2025 г.).
3. Qiskit - IBM Quantum Computing [Электронный ресурс] / URL: https://www.ibm.com/quantum/qiskit (дата обращения: 10.10.2025 г.).

COMPARATIVE REVIEW OF SOFTWARE TOOLS FOR QUANTUM SYSTEM SIMULATION

Bogdanova E.I., Zadisentsev D.A., Gamalei K.A., Petryakova V.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents a review of existing software solutions designed for simulating quantum systems and components. Modern platforms such as *IBM Quantum Platform*, *QuTiP*, and *Qiskit* are examined and compared in terms of functionality, visualization capabilities, and accessibility for users with varying levels of technical expertise. The key limitations of current tools that hinder their use in educational contexts are identified, and future directions for developing intuitive web interfaces for quantum component simulation are outlined.

УДК 004.056.5

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В ИНФРАСТРУКТУРУ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Киевская С.Б., Фоменко В.В., Богданова Е.И.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Внедрение технологии квантового распределения ключей (КРК) в существующую инфраструктуру волоконно-оптических линий связи представляет собой одну из ключевых задач развития квантовых коммуникаций, направленную на обеспечение защищенной передачи данных в современных телекоммуникационных системах. Совмещение квантовых и классических каналов в одном оптическом тракте, особенно при использовании технологии плотного спектрального уплотнения каналов (DWDM) требует решения комплекса инженерных и физических задач, связанных с подавлением нелинейных эффектов, снижением перекрестных помех и оптимизации параметров передачи данных. Эффективная интеграция систем КРК невозможна без адаптации архитектуры сетей, включая внедрение узкополосных фильтров и регулировку мощности излучения. Одним из ключевых направлений развития является разработка гибридных систем, в которых квантовые каналы функционируют параллельно с классическими в одной волоконной линии, не ухудшая параметров друг друга.

В докладе рассматриваются особенности интеграции систем КРК в инфраструктуру волоконно-оптических линий связи, а также основные факторы, влияющие на эффективность их реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klicnik O., Munster P., Horvath T. Multiplexing Quantum and Classical Channels of a Quantum Key Distribution (QKD) System by Using the Attenuation Method // Photonics. — 2023. — Vol. 10, № 11. — Article 1265. — DOI: 10.3390/photonics10111265.

FEATURES OF IMPLEMENTING QUANTUM KEY DISTRIBUTION TECHNOLOGY INTO OPTICAL NETWORK INFRASTRUCTURE

Kyivskaya S.B., Fomenko V.V., Bogdanova E.I.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper examines the features of integrating Quantum Key Distribution (QKD) technology into the infrastructure of fiber-optic networks, as well as the technical and physical factors affecting its efficiency. Special attention is given to the suppression of nonlinear effects, reduction of crosstalk, and the development of hybrid systems that enable the coexistence of quantum and classical communication channels within a single optical fiber.

УДК 378.147:004.738.5

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТЕСТА НА ПЛАТФОРМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Макаров И.С., Шабаев В.Р.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С развитием цифровых технологий и массовым переходом к дистанционному обучению возникла острая необходимость обеспечения честности сдачи экзаменов и объективной оценки знаний обучающихся. Особое значение это имеет при проведении промежуточной и итоговой аттестации в дистанционном формате. Для решения этой задачи разрабатываются и массово внедряются специализированные технологии мониторинга обучающихся во время прохождения тестов на платформах дистанционного обучения (LMS — Learning Management Systems). Под мониторингом понимается процесс опосредованного наблюдения за действиями обучающихся, сдающих экзамен или зачет, с применением современных технологий [1].

Данные технологии объединяют методы искусственного интеллекта, компьютерного зрения, анализа поведения экзаменуемого и защиты данных. Обеспечивая надежный контроль за процессом выполнения заданий без фактического присутствия экзаменатора. Они также включают в себя несколько ключевых компонентов: веб-камера, микрофон, управление контентом (хранение и организация учебных материалов), управление пользователями (создание профилей, групп и назначение курсов), инструменты оценки и отслеживания прогресса (тесты, задания, отчеты) и средства коммуникации и взаимодействия [2]. Встроенная или внешняя веб-камера, фиксирует и передает данные для анализа поведение студента в реальном времени. Микрофон позволяет фиксировать речь экзаменуемого и анализировать фоновые звуки, для выявления фактов наущения регламента сдачи.

Некоторые системы требуют предварительной калибровки оборудования и проверки условий окружения. Будь то уровень освещенности или уровень шума. Перед началом теста обучающемуся может быть предложено продемонстрировать рабочее место с помощью камеры: показать стол, стены, пол, чтобы убедиться в отсутствии шпаргалок или посторонних материалов. Некоторые платформы используют 360-градусный обзор или дополнительную камеру (например, на смартфоне). Это необходимо как для корректной работы системы, так и для комфорта экзаменуемого.

Искусственный интеллект анализирует видеопоток на предмет подозрительных действий: частые отведения взгляда от экрана, появление посторонних лиц, использование дополнительных устройств, необычные движения головы или рук. Некоторые системы также отслеживают мимику и позу тела для выявления стресса или попыток обмана.

Перед началом тестирования обучающийся проходит верификацию личности – через загрузку фотографии документа (паспорта, студенческого билета). Некоторые платформы используют биометрическую аутентификацию (например, распознавание лиц или голоса).

Для предотвращения поиска ответов в интернете или использования справочных материалов система может блокировать доступ к другим программам, буферу обмена, скриншотам и даже копированию текста. В случае факта переключения на иную вкладку браузера (если сервис реализован в виде сайта) система фиксирует нарушение и может приостановить тест.

Вся сессия тестирования записывается и сохраняется для последующего анализа. Преподаватель или экзаменационная комиссия получает отчет с количественными показателями о подозрительных действиях. Общее число отведенных взглядов, время, затраченное на каждый вопрос, и другие метрики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самойлова, И.Н. Онлайн-прокторинг как эффективный механизм обеспечения достоверной оценки результатов обучения / И.Н. Самойлова, С.А. Петрушенко // Евразийский юридический журнал. – 2020. – № 12(151). – С. 458-459

2. Баданова, Н. М. Использование СДО (LMS) в электронном обучении / Н. М. Баданова, А. Г. Баданов // Школьные технологии. – 2016. – № 2. – С. 102-108. – EDN WIDUUL.

AN OVERVIEW OF TECHNOLOGY FOR MONITORING STUDENTS WHILE TAKING THE TEST ON DISTANCE LEARNING PLATFORMS

Makarov I.S., Shabaev V.R.

(*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics*)

With the development of digital technologies and the mass transition to distance learning, an acute necessity has arisen for ensuring the honesty of taking exams and the objective assessment of the knowledge of learners. Particular significance this has when conducting intermediate and final certification in a distance format. For solving this task, specialized technologies for monitoring learners during the passing of tests on distance learning platforms (LMS — Learning Management Systems) are being developed and massively implemented. Under monitoring is understood the process of indirect observation of the actions of learners, taking an exam or a test, with the application of modern technologies.

УДК 621.391.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКОВ НА КАЧЕСТВО ДЕТЕКЦИИ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Нефёдова Д.С., Олькова Н.С.
(Уфимский университет науки и технологий)

Телекоммуникационные системы реального времени – видеоконференции, удалённая медицина, фитнес-приложения – активно интегрируют алгоритмы компьютерного зрения для анализа поведения человека. Детекция ключевых точек тела позволяет оценивать позу, жесты и движения пользователя без физического контакта. Однако передача видеопотоков в условиях ограниченной пропускной способности канала требует компрессии, что приводит к деградации качества изображения и снижению точности алгоритмов поздней оценки. Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественной оценки компромисса между степенью сжатия видео и точностью детекции ключевых точек для обоснованного выбора параметров кодирования в ресурсо-ограниченных телекоммуникационных приложениях [1].

Целью работы является экспериментальное исследование влияния разрешения (480p, 720p) и кадровой частоты (25, 30 fps) на точность детекции 17 ключевых точек тела человека, измеряемую метрикой Object Keypoint Similarity (OKS), и задержку обработки (inference latency) на CPU. Для оценки качества сжатия используется метрика PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), определяемая как:

$$\mathrm{PSNR} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{255^2}{\mathrm{MSE}}\right) \quad (1)$$

где MSE – среднеквадратичная ошибка между исходным и сжатым кадром; типично PSNR>30 дБ соответствует хорошему качеству, PSNR<25 дБ – заметная деградация. Метрика OKS для COCO-17 измеряет сходство предсказанных и эталонных ключевых точек с учётом масштаба и весов.

Уверенность (Confidence) трактуется как видимость для модели MediaPipe Pose в диапазоне [0; 1]; порог 0,5 принят для надёжных точек. Компромисс «разрешение–скорость»: рост разрешения повышает OKS, но увеличивает задержку; требование для систем реального времени – задержка <50 мс на кадр в системах с интерактивной обратной связью.

Эксперименты проводились на датасете WLU Rehabilitation Posture Dataset (Kaggle) видеозаписи упражнения Sit-to-Stand, 10 файлов. Исходные видео преобразовывались в 4 конфигурации: 480p (854×480), 720p (1280×720) при 25 и 30 fps с кодеком H.264. Для каждой конфигурации извлекались 17 ключевых точек COCO-17 моделью MediaPipe Pose и вычислялись: PSNR относительно оригинала покадрово, последовательности координат и видимости, средний confidence по 17 точкам и всем кадрам, задержка вывода t_{int} (мс на кадр). OKS рассчитывался между последовательностями оригинала и преобразованного

видео согласно (1) с агрегацией по 10 видео для каждой конфигурации. Статистический анализ включал вычисление средних и стандартных отклонений метрик, построение trade-off диаграмм «OKS–задержки», «confidence–resolution» (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость OKS от t_{int} для конфигураций

Конфигурация	PSNR, дБ	OKS	Confidence	t_{int}, мс
480p@25fps	35,2 ± 1,8	0,782± 0,045	0,845 ± 0,0032	18,3± 2,1
480p@30fps	35,1 ± 1,7	0,785 ± 0,043	0,848 ± 0,031	18,1±2,0
720p@25fps	38,6± 1,5	0,852 ± 0,038	0,891 ± 0,028	32,7±3,2
720p@30fps	38,5 ± 1,6	0,854 ± 0,037	0893 ± 0,027	32,4±3,1

Проведенный анализ показывает, что увеличение разрешения с 480p до 720p приводит к росту среднего OKS на величину порядка 8,8%, но также к увеличению здержки на 14,6 мс, что подтверждает компромисс точность–скорость. Повышение fps с 25 до 30 незначительно влияет на PSNR и OKS (вариация <2%). Конфигурация 480p@30fps показала себя оптимальной для систем реального времени. Конфигурация 720p@25fps обеспечивает максимальный OKS, но задержка превышает 30. Экспериментально установлено, что параметры кодирования видеопотоков значимо влияют на точность детекции ключевых точек в телекоммуникационных системах. Разрешение 480p обеспечивает приемлемую точность (OKS >0.75) при низкой задержке (<50 мс), что критично для приложений реального времени. Для offline анализа с требованиями высокой точности рекомендуется 720p@25fps. Результаты могут использоваться для проектирования адаптивных систем видеоаналитики с динамической настройкой параметров кодирования в зависимости от состояния канала и ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fast human pose estimation in compressed videos [Текст] / H. Liu, W. Liu, Z. Chi, Y. Wang, Y. Yu, J. Chen, J. Tang // IEEE Transactions on Multimedia. — 2022. — Т. 25. — С. 1390–1400.

INVESTIGATION OF VIDEO ENCODING PARAMETERS INFLUENCE ON KEYPOINT DETECTION QUALITY IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Nefedova D.S., Olkova N.S.
(Ufa University of Science and Technology)

This study investigates the impact of video encoding parameters (480p/720p, 25/30 fps) on 17-keypoint detection accuracy using MediaPipe Pose. Metrics include OKS and CPU inference latency.

УДК 004.932

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОПОТОКОВ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ОШИБОК ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ СЕТЕВЫХ ДЕГРАДАЦИЯХ

Олькова Н.С., Нефёдова Д.С.
(Уфимский университет науки и технологий,)

Детекция и классификация ошибок движения в реабилитации, киберспорте и дистанционном обучении требуют устойчивой позовой оценки при ограниченной пропускной способности каналов и деградациях качества видео, где объективные метрики типа PSNR/SSIM коррелируют с субъективным/перцептуальным качеством [1]. Стандартная метрика точности позовой оценки Object Keypoint Similarity (OKS) из COCO используется для количественной валидации локализации ключевых точек скелета. Современные модели 2D-позы (MediaPipe/BlazePose, MoveNet, RTMPose, YOLOv8-pose) демонстрируют типичные скорости 30–100 FPS и OKS/АП на COCO, достаточные для систем реального времени на CPU/GPU-классах, но чувствительны к ухудшению качества из-за сжатия [2]. Цель работы — оценить устойчивость MediaPipe Pose к снижению битрейта (2000/1000/500 кбит/с) для упражнения Arm Raise и количественно связать деградацию OKS и Accuracy с параметрами QoS.

Алгоритм исследования был следующим: (1) H.264-сжатие 640×480 при 2000/1000/500 кбит/с (FFmpeg); (2) извлечение 17 COCO-точек MediaPipe Pose покадрово; (3) средняя OKS по последовательности относительно эталона; (4) бинарная классификация «правильно/неправильно» по максимальному углу плечо–локоть–запястье (порог 160°); (5) Accuracy по совпадению меток; (6) измерение времени инференса – t_{int} на CPU. Метрика OKS (COCO) определяется как:

$$\text{OKS} = \frac{\sum_{i=1}^{17} \exp\left(-\frac{d_i^2}{2s^2 k_i^2}\right) \mathbf{1}[v_i > 0]}{\sum_{i=1}^{17} \mathbf{1}[v_i > 0]}, \; d_i = \| p_i - p_i' \|_2, \; s = \sqrt{\text{bbox_area}} \tag{1}$$

где k_i – константы по типам точек (например, плечи 0.079, запястья 0.062), v_i – индикатор видимости; высокие значения OKS≳0,8соответствуют хорошему совпадению.

Входные данные исследования: 10 видео «Arm Raise» из набора данных WLU Rehabilitation Posture Dataset (5 correct/5 incorrect), 640×480, ≈5 с; эталон – оригинал при 2000 кбит/с; для 2000/1000/500 кбит/с измерялись средние OKS, Accuracy и t_{int} на кадр, статистика – 5-кратная кросс-валидация при наличии, 95% ДИ. В ходе проведения исследования было выявлено падение PSNR и возрастание числа артефактов блочного кодирования/квантования при снижении битрейта, что ухудшает локализацию мелких деталей и ведёт к снижению OKS

и точности классификации; t_{int} почти не зависит от битрейта, так как вычислительная сложность модели постоянна (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость средней OKS, Accuracy классификации и t_{int} от битрейта

Битрейт (кбит/с)	Средняя OKS	Accuracy (%)	t_{int} (мс/кадр)
2000	0,852	0,783	24,3
1000	0,812	0,475	24,1
500	0,763	0,698	23,9

Было выявлено монотонное ухудшение OKS при падении битрейта (корреляция $r \approx -0.95$, $p < 0.05$), что согласуется с влиянием сжатия на ошибки компьютерного зрения. Точность классификации деградирует слабее, чем OKS, поскольку для бинарного решения достаточно грубых угловых признаков плечо–локоть–запястье, тогда как OKS учитывает все 17 точек. Среднее инференс-время 24,1 мс/кадр соответствует ∼41 FPS и удовлетворяет требованиям реального времени.

Таким образом, понижение битрейта с 2000 до 500 кбит/с приводит к снижению OKS на 10,4% и Accuracy на 8,5 п.п., при этом инференс-время остаётся стабильным (24,1 мс/кадр), что важно для QoS-адаптации порогов и политик обработки в реальном времени. Результаты поддерживают применение MediaPipe Pose при ограниченной пропускной способности при условии калибровки confidence/порогов и контроля качества входного видео.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The accuracy of PSNR in predicting video quality for different video scenes and frame rates [Text] / Q. Huynh-Thu, M. Ghanbari // Telecommunication Systems. — 2012. — Vol. 49, № 1. — P. 35–48.
2. Microsoft COCO: Common Objects in Context [Text] / T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, C.L. Zitnick // Computer Vision – ECCV 2014: Vol. 8693: Lecture Notes in Computer Science. — Cham: Springer International Publishing, 2014. — P. 740–755.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VIDEO STREAM PROCESSING ALGORITHMS FOR MOTION ERROR DETECTION IN REAL-TIME SYSTEMS UNDER NETWORK DEGRADATIONS

Olkova N.S., Nefedova D.S
(Ufa University of Science and Technology)

The study evaluates robustness of MediaPipe Pose to bitrate reduction (2000/1000/500 kbit/s) in the Arm Raise task, reporting OKS and classification accuracy degradation versus QoS while inference time remains stable. The results inform QoS-adaptive threshold tuning for remote rehabilitation systems under bandwidth constraints.

УДК 004.8

ВЛИЯНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ОБРАБОТКУ ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Гусева А.С., Борисов Е.А.
(Уфимский университет науки и технологий)

В работе представлен инновационный метод увеличения пропускной способности многомодовых оптических волокон с использованием глубоких сверточных нейронных сетей с комплекснозначной арифметикой. Данный подход автоматически компенсирует дисперсионные и нелинейные искажения, совместно обрабатывая сигналы всех мод с учетом их взаимного влияния.

Сегодня одной из главных проблем в сфере современных телекоммуникаций является увеличение пропускной способности традиционных каналов связи. для решения ключевой проблемы современных телекоммуникаций - увеличения пропускной способности каналов связи с помощью многомодовых волокон - предлагается инновационный подход на основе глубоких сверточных нейронных сетей с комплекснозначной арифметикой. В отличие от классических методов, требующих точного физического моделирования и сталкивающихся с ограничениями в сложных системах, данный подход совершает революционный сдвиг, поскольку нейронные сети автоматически выявляют скрытые зависимости в данных, минуя потребность в сложных аналитических моделях [1]. Разработанная архитектура, включает последовательность чередующихся линейных и нелинейных слоев. Линейные слои, построенные на основе комплексных свёрток, компенсируют дисперсионные искажения, в то время как нелинейные слои со специальной функцией активации исправляют нелинейные искажения среды.

Проведенное исследование охватывало два крайних сценария работы многомодового волокна: режимы слабой и сильной связи между модами. Анализ обученных линейных фильтров выявил четкое соответствие физическим процессам. В режиме слабой связи каждый фильтр имел уникальную форму и временное смещение, отражая индивидуальные характеристики распространения мод. В режиме сильной связи фильтры стали одинаковыми и симметричными из-за доминирующего влияния межмодовых связей. Ключевым условием успешной компенсации дисперсий оказался выбор оптимальной ширины линейного фильтра, особенно для высокочастотных мод, что критически влияет на точность реконструкции сигнала и качество приема. Кроме того, учет временных зависимостей на этапе нелинейной обработки с использованием символьного окна из трех ближайших символов позволил сократить коэффициент битовых ошибок (BER) примерно на четверть по сравнению с подходом, игнорирующим временную корреляцию, что существенно повысило надежность системы [2]. Одним из наиболее значимых результатов стала оценка производительности двух вариантов нелинейных функций активации. Второй подход, учитывающий нелинейное взаимодействие между разными модами, показал существенное преимущество перед

классическими алгоритмами линейной компенсации и схемами с независимой обработкой мод.

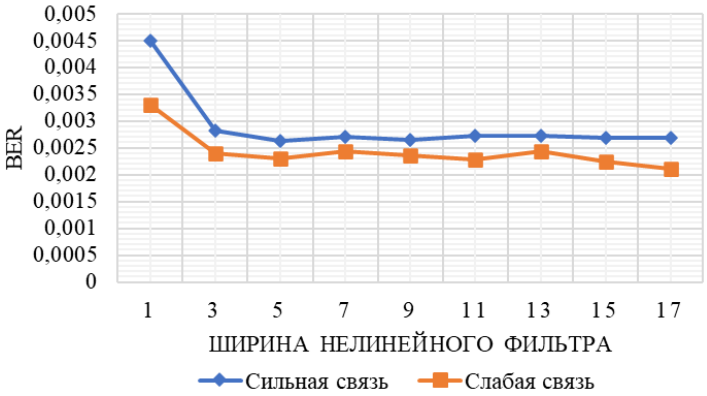


Рис. 1. Зависимость коэффициента битовых ошибок BER от ширины нелинейного фильтра в режимах сильной и слабой связи мод

В режиме слабой связи мод совместное использование мод дало уменьшение коэффициента битовых ошибок (BER) на целых 58%, демонстрируя значительную разницу даже при незначительном влиянии межмодовых эффектов. Когда же речь шла о сильном взаимодействии мод, преимущества совместного анализа становились ещё более очевидными: уровень BER снижался на 75% по сравнению с независимой обработкой и на внушительные 81% по отношению к линейной компенсации. Данный результат убедительно свидетельствует о критической важности учёта кросс-модовых эффектов для повышения точности и надежности передачи данных в многомодовых оптических системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов С.А. и др. Квантовая электроника, 51 (5), 459 (2021). [Quantum Electron., 51 (5), 459 (2021)]

2. Сидельников О.С., Редюк А.А., Федорук М.П. Квантовая электроника. 2022. Т. 52, № 11. С. 1018–1022. [Sidelnikov O.S., Redyuk A.A., Fedoruk M.P. Quantum Electronics. 2022. Vol. 52, no. 11. P. 1018–1022.]

INFLUENCE OF NEURAL NETWORKS ON ONE-DIMENSIONAL AND MULTI-DIMENSIONAL OPTICAL SIGNAL PROCESSING

Guseva A.S., Borisov E.A.
(Ufa University of Science and Technology)

The paper presents an innovative method for increasing the bandwidth of multimode optical fibers using deep complex-valued convolutional neural networks. This approach automatically compensates for dispersion and nonlinear distortions by jointly processing the signals of all modes, taking into account their mutual interference.

УДК 681.128.56

РАЗРАБОТКА DATA MINING ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ ОКС-7

[1,2]Виноградова И.Л., [1]Юрочкин В.М., [2]Садыков Н.Х.
([1]Уфимский университет науки и технологий,
[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет)

В настоящее время защита технических систем от всевозможных киберугроз начинает принимать определяющее значение, поэтому в данной области разрабатывается большое количество самых разнообразных средств. Именно с учетом последнего создаются новые поколения систем связи. Но существует и успешно эксплуатируются немало подсистем, для которых изначально не ставилась как таковая задача о защищенности от киберугроз. Сюда можно отнести служебные подсистемы для телекоммуникаций – система сигнализации ОКС№7 [1] и аналогичные (для пакетных сетей [2]: система управления коммутируемым виртуальным каналом (Switched Virtual Circuit, SVC) и постоянным виртуальным каналом (Permanent Virtual Circuit, PVC)). Статистика наиболее актуальных угроз приведена на рис. 1.

Поэтому представляется актуальной разработка механизмов как компенсации киберугроз на служебные подсистемы в сетях связи, так и (в наиболее простом случае) – механизма отслеживания корректности работы таковых. В частности, представляется интересным введение в рассмотрение дополнительных служебных сигналов, передаваемых совместно с другими служебными сигналами, предназначенных для постоянного отслеживания состояния служебной подсистемы. При этом анализ этих сигналов предлагается выполнять с привлечением технологии Data Mining – с разработкой соответствующего приложения.

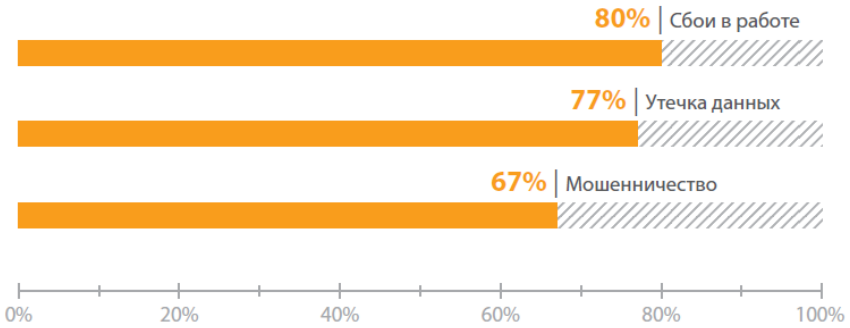


Рис. 1. Иллюстрация наиболее распространенных угроз для служебных телекоммуникационных подсистем; взято из [2]

Предполагается, что в системе должен быть назначен некоторый ведущий узел (мастер-узел), который совершает запросы ко всем остальным узлам (ведомым, или слейвер-узлам). Запрос мастер-узла может выглядеть так, как показано на рис. 2. Технология Data Mining предоставляют гибкие инструменты для решения данной задачи – может применяться на этапах сбора данных, затем

– выполнять извлечение признаков (Feature Engineering) с выработкой структурированных векторов признаков, которые затем могут быть использованы для обучения моделей поведения рассматриваемых подсистем.

ID слейва	Ф-я отслеж.	Форма контроля	Тип DM	Контроль Т-метки	Примечание	Контроль достоверности приема

Рис. 2. Пример сигнала-запроса со стороны мастер-узла

После чего рассылка и анализ таких сигналов повторяется. Изначально модель машинного обучения должна быть обучена на наборе данных, содержащем векторы признаков «нормального» поведения системы. Это могут быть как размеченные, так и неразмеченные данные. Затем обученная модель применяется к новому, поступающему в реальном времени трафику. Если поведение трафика значительно отклоняется от изученной «нормы», система классифицирует его как аномалию и потенциальную атаку, генерируя специализированный сигнал об опасности, либо инициирует дополнительную функцию. Например, может быть начата проверка всех узлов типа SP, STP в рамках системы ОКС-7.

Таким образом, предложенный подход позволяет в режиме реального времени отслеживать специфику работы служебной телекоммуникационной подсистемы, анализируя специальные сигналы. Уязвимости служебных подсистем связаны с тем, что в период их разработки не было столь высоких требований к защите от угроз, как это имеет место в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации МСЭ-Т серии Q.700. Система ОКС №7. URL: https://bsuir-helper.rustk.ucoz.org (дата обращения: 20.10.2025 г.).

2. Вопросы технологий сетей пакетной коммутации URL: https:// https://intuit.ru/studies/courses/3645/887/ (дата обращения: 20.10.2025 г.).

DEVELOPMENT OF A DATA MINING APPLICATION FOR MONITORING OF THE SS-7 SIGNALING PARAMETERS SYSTEM

[1,2]*Vinogradova I.L.,* [1]*Yurochkin V.M.,* [2]*Sadyikov N.H.*

([1]Ufa University of Science and Technology,

[2]Ufa State Petroleum Technological University)

It has been established that service telecommunications subsystems are exposed to cybernetic threats, as they do not have protection mechanisms against them. Therefore, it is proposed to introduce additional service signals transmitted in conjunction with other service signals that constantly monitor the state of the service subsystem. At the same time, the analysis of these signals should be performed using data mining technology. Both machine learning and various types of neural networks can be useful here.

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Секция 1. Технологии оптических систем телекоммуникаций

УДК 621.39

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО FRONTHAUL В СЕТЯХ 5G

Росляков А.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В архитектуре мобильных сетей 5G одним из важнейших элементов является транспортный сегмент Fronthaul [1], который должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать транспортировку трафика радиоинтерфейса eCPRI, который состоит из стандартных потоков Ethernet.
2. Поддерживать каналы с высокой пропускной способностью – радиомодули 5G, которые сейчас находятся в процессе развертывания, имеют каналы связи со скоростью 25 Гбит/с, в ближайшей перспективе – 50 Гбит/с.
3. Обеспечивать бесперебойную высокоточную синхронизацию между модулем базовой полосы BBU и радиомодулями RRH, например, с помощью стандартной технологии TSN Ethernet [2].
4. Соответствовать строгим требованиям к задержке мобильной связи, которые для трафика пользователей не должны превышать 100 мкс.

Операторам мобильных сетей доступны три варианта оптической архитектуры сегмента Fronthaul, отвечающие этим требованиям:

1. Оптоволоконные соединения «точка-точка» – это решение основано на использовании выделенного оптоволоконного кабеля «точка-точка» между каждым радиомодулем RRH (или последовательной цепью радиомодулей) и соответствующим модулем обработки BBU.
2. Системы мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM) – в этом варианте мультиплексор/демультиплексор WDM размещается на обоих концах сегмента Fronthaul, и каждое радиосоединение передается на выделенной оптической длине волны.
3. Системы пакетного Fronthaul – в этой архитектуре коммутатор TSN Ethernet размещается на каждом конце сегмента Fronthaul, и каждое радиосоединение передается стандартным потоком Ethernet. Каналы eCPRI, передаваемые кадрами Ethernet, подвергаются стандартной коммутации TSN Ethernet и транспортируются через сегмент Fronthaul. В связи со строгими ограничениями по задержке и синхронизации в мобильных сетях IEEE разработал полный набор требований к Fronthaul, известный как профиль IEEE 802.1CM. Эти требования охватывают синхронизацию, приоритет кадров и OAM для применения технологии TSN Ethernet в сетях 5G.

Для данных трех моделей был проведен оценочный расчет стоимости внедрения на практике. Так замена оптоволокна «точка-точка» на систему WDM может снизить капитальные затраты на Fronthaul примерно на 40%, а замена на пакетный Fronthaul – до 70%. Полученные результаты показывают

относительный вклад кабельной инфраструктуры, сетевого оборудования и оптического кабеля в общие капитальные затраты для трех архитектур и могут быть использованы для принятия обоснованных решений об инвестициях в оптическую магистраль для реализации сегмента Fronthaul в сетях 5G.

Помимо преимуществ пакетного сегмента Fronthaul в плане капитальных затрат, существуют эксплуатационные ограничения, присущие решениям «точка-точка» и WDM, которые решает пакетная сеть Fronthaul.

При наличии в сети WDM-соединения добавляется дополнительный уровень управления и излишняя эксплуатационная сложность для сквозной сети. Пакетная сеть Fronthaul представляет собой стандартные Ethernet-решения и обеспечивают сквозное управление соединением между RRH и BBU, тем самым упрощая эксплуатацию и снижая операционные расходы.

Пакетный Fronthaul упрощает взаимодействие нескольких сетевых операторов/поставщиков услуг в одной географической зоне за счет использования стандартов OAM ORAN, которые предоставляют открытые, общеотраслевые механизмы управления радиоканалами, пересекающими границы между операторами.

Пакетная сеть TSN Fronthaul увеличивает скорость обслуживания. Постоянный спрос на большую пропускную способность радиоинтерфейса и переход на более высокие радиочастоты приведут к значительному увеличению количества радиоустройств, подключаемых к 5G. Этот фактор, наряду с растущим числом поставщиков услуг (например, частные кампусные сети 5G), означает, что реконфигурация сетей радиодоступа 5G будет частой и детальной, а введение новой емкости должна быть быстрой, дешевой и требовать минимального количества выездов персонала. Очевидно, что сети TSN Ethernet, которые уже развернуты в крупных, гетерогенных, постоянно развивающихся сетях, соответствует требованиям для сетей радиодоступа 5G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В., Герасимов В.В. Анализ сквозной задержки в транспортном сегменте Fronthaul сетей 4G/5G на базе технологии TSN // Труды учебных заведений связи, 2024, т. 10, №1, с. 73-84.
2. Росляков А.В., Герасимов В.В., Мамошина Ю.С., Сударева М.Е. Стандартизация синхронизируемых по времени сетей TSN // Стандарты и качество, 2021, № 4, с. 48-53.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR IMPLEMENTING THE OPTICAL FRONTHAUL IN 5G NETWORKS

Roslyakov A.*V.*
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Three options for architecture of the optical Fronthaul segment in 5G networks are considered: point-to-point fiber-optic connections, wavelength division multiplexing systems and packet Fronthaul based on TSN Ethernet technology.

УДК 621.391.8:623.746.5

ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ТЕХНИКИ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И МОНИТОРИНГА

Жумаев Ф.Ш., Кузнецов А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В данной работе рассмотрены актуальные подходы к организации высокоскоростных и помехозащищенных каналов связи для подвижной техники, в частности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), интегрируемых в системы типа «Безопасный город» и применяемых в различных отраслях экономики. Проведен анализ ограничений беспроводных систем связи и технологий, используемых БПЛА в качестве связи, таких как MIMO, WI-FI, Ocusync. В связи с чем были предложены перспективные гибридные решения на основе волоконно-оптических технологий и систем связи radio-over-fiber (RoF) и WDM-MDM. С практической точки зрения – модификация трансивера для аналоговой передачи RoF. Интеграция волоконно-оптических технологий в каналы связи подвижной техники позволяет создать помехозащищенный, неуязвимый к воздействию средств РЭБ и перехвату канал передачи в системах видеонаблюдения и мониторинга.

Современные системы безопасности и мониторинга, такие как аппаратно-программный комплекс «Безопасный город», несмотря на свою эффективность, сталкиваются с проблемами финансирования и морального устаревания оборудования, в связи чем задержки передачи данных, низкое качество видео и ограниченная гибкость покрытия. Замена или ремонт стационарных камер приводит к временной потере контроля над территорией, что является существенной проблемой для быстрого реагирования экстренных служб.

Поэтому необходима интеграция мобильных комплексов мониторинга на базе БПЛА, что позволяет обеспечивать покрытие в любой точке города. В беспилотных системах широко используется стандарт беспроводной связи IEEE 802.11, то есть WI-FI и LTE/5G, работающие на частотах 2,4 ГГц, 5,8 ГГц. Также узкоспециализированные протоколы, реализуемые в программно-аппаратной среде на основе модуляции OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов) с использованием антенн на основе MIMO [1].

Однако радиоканалы, обеспечивая мобильность, ограничены по полосе пропускания, подвержены задержкам и уязвимы к перехвату. В связи с этим, необходимо использовать волоконно-оптический канал передачи, так как он закрыт от перехвата, неуязвим к воздействию электромагнитных помех, обладает высокой пропускной способностью и низкими потерями. Поэтому можно использовать технологию RoF для передачи радиочастотного сигнала по оптоволокну, которая используется в системах распределения видео. Для мобильности систем с практической точки требуется модификация трансивера для аналоговой передачи RoF, которая подразумевает обход цифровой части и

прямое подключение контактов приема и передачи к оптическим подузлам [2]. Либо использование двунаправленной системы WDM-MDM на основе многомодового волокна OM3 в качестве альтернативы MIMO системы [3].

Применение подвижной техники очень обширное. БПЛА широко применяется при мониторинге топливно-энергетического комплекса, строительстве, сельском хозяйстве, охране, поисково-спасательных работах. Проведенный анализ показывает, что дальнейшее развитие систем видеонаблюдения и мониторинга, основанных на подвижной технике, связано с интеграцией волоконно-оптического канала передачи данных. Так как помимо мобильности систем, обеспечивается высокая помехозащищенность, отсутствие перехвата канала связи, неуязвимость к воздействию средств РЭБ, высокая пропускная способность в отличие от радиоканала, что критически важно для безопасности. Также можно интегрировать подачу питания по оптоволокну, что существенно повысит работоспособность.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/ и программы ПРИОРИТЕТ 2030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MIMO relaying UAVs operating in public safety scenarios / J. Vianna, F. Cercas, A. Correia [et al.] // Drones. – 2021. – Vol. 5. – P. 32. – DOI: 10.3390/drones5020032.

2. 5G-Compatible IF over fiber transmission using low-cost SFP transceiver / M.A. Fernandes, B.T. Brandão, A. Lorences-Riesgo [et al.] // IEEE Access. – 2022. Vol. 10. – P. 24610. – DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3154784.

3. MIMO free WDM-MDM bidirectional transmission over OM3 MMF / M. Jang, C. Chen, B. Zhu, F. Hu // Optics Communications. – 2020. Vol. 473. – Art. 125988. – DOI: 10.1016/j.optcom.2020.125988.

APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF A FIBER-OPTIC TRANSMISSION CHANNEL FOR MOBILE EQUIPMENT IN VIDEO SURVEILLANCE AND MONITORING SYSTEMS

Jumaev F.Sh., Kuznetsov A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper considers current approaches to the organization of high-speed and noise-proof communication channels for mobile equipment, in particular unmanned aerial vehicles (UAVs) integrated into «Safe City» type systems. The limitations of wireless communication systems and technologies used by UAVs as communications, such as MIMO, WI-FI, Ocusync, are analyzed. In this regard, promising hybrid solutions based on fiber-optic technologies and radio-over-fiber (RoF) and WDM-MDM communication systems were proposed. From a practical point of view, it is a modification of the transceiver for analog RoF transmission. The integration of fiber-optic technologies into the communication channels of mobile equipment makes it possible to create a noise-proof transmission channel in video surveillance and monitoring systems that is invulnerable to electronic warfare and interception.

УДК 621.391.8:004.942

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКЕТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ТЕХНИКИ

Жумаев Ф.Ш., Кузнецов А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Развитие систем мобильного видеонаблюдения требует создание надежных каналов передачи данных с высокой пропускной способностью. Волоконно-оптические системы являются перспективным решением благодаря своей помехозащищенности, низким потерям и широкой полосой пропускания. Моделирование макета волоконно-оптического канала передачи проведено в программной среде Optisystem [1]. Структура модели (Рис. 1) включает в себя передающую часть, линию передачи и приемную часть.

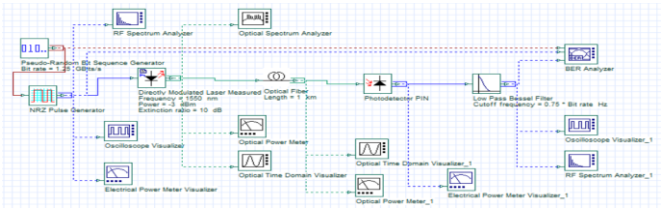


Рис. 1. Компьютерная модель волоконно-оптического канала передачи

При прохождении через тракт с увеличением длины волокна амплитуда импульсов падает, происходит искажение формы сигнала и появление временных сгустков. При длине волны λ2=1550 нм спад амплитуды происходит медленнее, что объясняется меньшим затуханием. Измерения оптической мощности подтвердили линейную зависимость потерь от длины волокна. Мощность при выходе тракта уменьшается с ростом длины оптического волокна, при этом для длины волны λ2=1550 нм этот процесс происходит медленнее.

Для оценки надежности и качества передачи данных в оптических системах используются параметры Q-фактор и BER (коэффициент битовых ошибок). В таблице 1 приведен анализ качества передачи данных на требуемых длинах волнах λ1=1310 нм и λ2=1550 нм при увеличении длины $L_{ОВ}$ (1-100 км) оптического волокна.

Таблица 1

Анализ качества передачи данных

λ1=1310 нм			λ2=1550 нм		
$L_{ОВ}$, км	Q-фактор	BER	$L_{ОВ}$, км	Q-фактор	BER
1	280.967	0	1	302.439	0
10	192.112	0	10	235.577	0
20	106.127	0	20	164.073	0
100	0	1	100	3.69426	0.000109927
74	0	1	115	0	1

Компьютерная модель хорошо показала свои характеристики. Предельная передача данных на длине волны λ1=1310 нм возникает при длине волокна $L_{ОВ}$=74 км, а на длине волны λ2=1550 нм возникает при длине волокна $L_{ОВ}$=115 км, когда Q-фактор=0 и BER=1. График зависимости Q-фактора от длины волокна имеют нелинейный характер (Рис. 2).

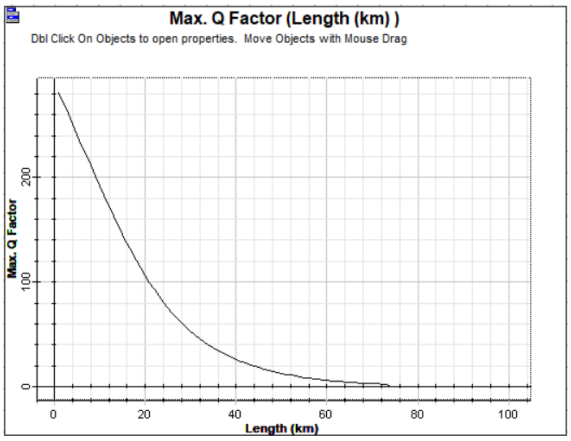


Рис. 2. Зависимость Q фактора от длины волокна с λ1=1310 нм

В результате компьютерное моделирование макета волоконно-оптического канала передачи подтвердило возможность организовать дуплексную связь передачи данных. Результаты работы могут быть использованы при проектировании реальных систем передачи данных для подвижной техники.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/ и программы ПРИОРИТЕТ 2030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Optiwave Design Software [Электронный ресурс] / https://optiwave.com/latest-news/optiwave-launches-optisystem-22-1-with-enhanced-pic-integration-and-ml-driven-tools (дата обращения: 03.05.2025).

COMPUTER SIMULATION OF THE LAYOUT OF A FIBER-OPTIC VIDEO TRANSMISSION CHANNEL FOR MOBILE EQUIPMENT

Jumaev F.Sh., Kuznetsov A.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The paper presents the results of computer modeling of the layout of a fiber-optic video transmission channel for mobile equipment in the OptiSystem software environment. The characteristics of this system are studied at different optical fiber wavelengths (1-100 km) and two operating wavelengths (λ1=1310 nm and λ2=1550 nm). The temporal and spectral characteristics of the signals, optical power, Q-factor and bit error coefficient (BER) are analyzed. Maximum distances have been set to ensure duplex communication.

УДК 621.391.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ТЕХНИКИ

Жумаев Ф.Ш., Кузнецов А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Большинство волоконно-оптических линий передач видеоизображения – это стационарные системы, то есть экран и видеокамера неподвижны. Также место крепления видеокамеры является неподвижным. Поэтому для мобильности системы требуется компактность используемых компонентов. Современные системы мобильного видеонаблюдения на базе БПЛА преимущественно используют беспроводные каналы связи, подверженные электромагнитным помехам и имеющие ограниченную дальность действия. Разработка волоконно-оптических каналов передачи для подвижной техники позволяет создать защищенные и неуязвимые к перехвату системы связи для мониторинга, что увеличивает безопасность данных систем.

Разработанная структурная схема (Рис. 1) представляет собой дуплексную волоконно-оптическую линию на длинах волн 1310 нм и 1550 нм, с пропускной способностью передачи данных 1.25 Гбит/с, превышающее технические данные при беспроводной связи [1].

Рис. 1. Структурная схема волоконно-оптической линии

Испытания проводились в лабораторных условиях, максимально приближенных к реальным, а именно влияние электромагнитных помех или иных условий, препятствующие распространению сигнала по беспроводному каналу. Перед каждым испытанием проводится стандартная проверка работоспособности оборудования, контроль целостности кабельных соединений и чистка оптических разъемов. Методика включала в себя проверку непрерывной передачи цифрового сигнала (видеоизображения) через волоконно-оптическую линию (Рис. 2) при различных длинах кабеля – одномодовое волокно SMF-28 с затуханием 0.2–0.4 дБ/км.

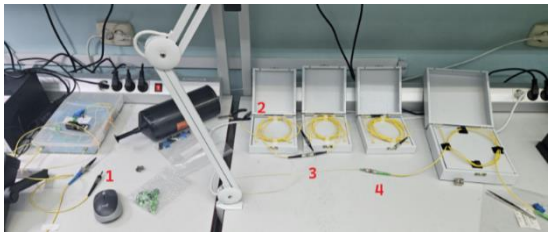


Рис. 2. Внешний вид исследуемого оптического тракта 19.5 км

Рефлектограмма лабораторного тракта (Рис. 3) демонстрирует несколько избыточный выбор длительности импульса, что не влияет на исследуемые параметры тракта.

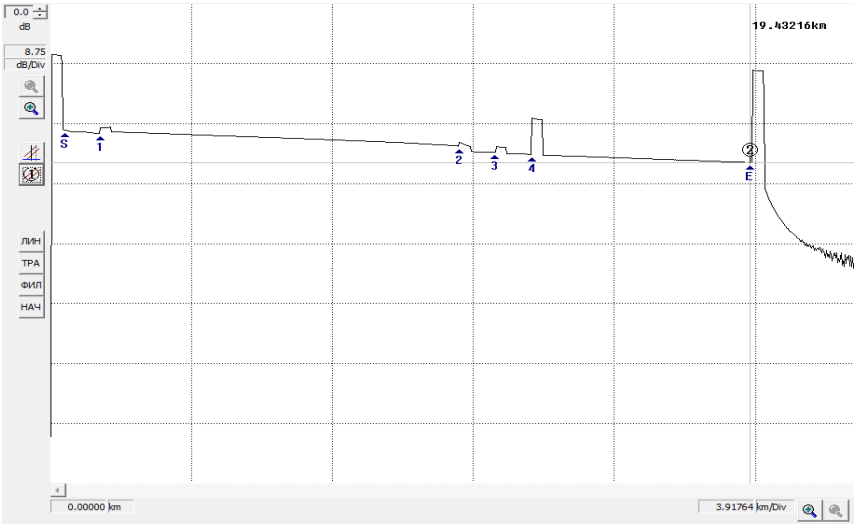


Рис. 3. Рефлектограмма данного тракт 19.5 км

Рефлектограмма показывает, что в тракте отсутствуют оптические усилители. Неоднородности – оптические соединения.

В ходе экспериментального исследования канала передачи было получено видеоизображение, в высоком качестве без задержек, что подразумевает эффективное использование именно волоконно-оптический тракт в качестве среды передачи сигнала, который не подвержен к электромагнитным помехам.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/ и программы ПРИОРИТЕТ 2030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбатов, Д Л. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС: конспект лекций / Д. Л. Айбатов, Л. Р. Айбатов. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева, 2013. – 167 с.

EXPERIMENTAL STUDY OF A FIBER-OPTIC VIDEO TRANSMISSION CHANNEL FOR MOBILE EQUIPMENT

Jumaev F.Sh., Kuznetsov A.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The paper presents the results of an experimental study of a fiber-optic video transmission channel for mobile vehicles based on UAVs. A block diagram of a system with duplex communication over a single optical fiber at 1310 nm and 1550 nm wavelengths has been developed. Tests of a prototype system with control of key parameters have been carried out.

УДК 621.391

СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Симагина С.Г., Матвеева Е.А., Григоров И.В., Черных О.Н.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В современных высокоскоростных цифровых волоконно-оптических линиях передачи (ВОЛП) обычно применяются одномодовые оптические волокна (ОВ). В них наблюдается два вида дисперсии – хроматическая (ХД) и поляризационная модовая (ПМД). Причиной возникновения ХД является зависимость показателя преломления кварцевого стекла от длины световой волны, а причины возникновения ПМД – неидеальность геометрии сердцевины и оболочки ОВ, посторонние включения, механические напряжения и т.д. Любая дисперсия является причиной возникновения межсимвольной интерференции (МСИ), которая заключается во временном перекрытии сигнальных элементов, передаваемых последовательно по линии, что, в свою очередь, ведет к увеличению вероятности ошибочного приема символов дискретного сообщения. Для уменьшения влияния МСИ используют различные способы линейной компенсации дисперсии, применяют малочувствительные к МСИ форматы модуляции, помехоустойчивое кодирование («Forward Error Correction» – FEC), коррекцию, прием в целом и т.д.

В ВОЛП кроме дисперсионных, заметно проявляются нелинейные искажения, порождаемые такими нелинейными эффектами, как фазовая самомодуляция (ФСМ), фазовая кроссмодуляция (ФКМ), четырехволновое смешение (ЧВС) и т.д. Все перечисленные эффекты обусловлены зависимостью показателя преломления кварца не только от частоты света, но и от его амплитуды (мощности). Действие нелинейных эффектов наиболее сильно проявляется в многоканальных ВОСП с уплотнением по длине волны («Wavelength Division multiplexing» – WDM) с большим числом спектральных каналов, т.к. с увеличением их числа растет мощность передаваемого полезного сигнала.

При совместном действии дисперсионных и нелинейных эффектов в линии характер межсимвольной интерференции существенно усложняется. Это обусловлено тем, что в нелинейной системе передачи не соблюдается принцип суперпозиции, т.к. ее реакция на сумму передаваемых сигналов не может быть представлена суммой реакций на каждый из них. Такое явление часто называют нелинейной межсимвольной интерференцией (НМСИ). Это приводит к дальнейшему увеличению вероятности ошибки. В отличие от линейного канала связи, указанный рост не может быть скомпенсирован увеличением мощности передаваемого сигнала, т.к. это, в свою очередь, приведет к усилению действия нелинейных эффектов.

В настоящее время применяются разные подходы к проблеме нелинейных искажений – поддержание уровня передаваемого сигнала в заданных пределах,

избыточное кодирование, использование специальных форматов модуляции, малочувствительных к такого рода искажениям и т.д.

В целом, использование нелинейных режимов работы ВОЛП может позволить увеличить не только длину регенерационного участка проектируемой линии, но и повысить битовую скорость передачи, с неизменной модовой, на существующей линии за счет применения многопозиционных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солитоны и нелинейные волновые уравнения / Р. Додд [и др.]. М.: Мир, 1988. 696 с.

2. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2002. 840 с.

3. Григоров И.В. Применение метода обратной задачи рассеяния для построения нелинейных фазовых фильтров // Электросвязь. 2010. № 1. С. 51–54.

SIGNAL PROCESSING SYSTEM IN DATA TRANSMISSION CHANNELS

Simagina S.G., Matveeva E.A., Grigorov I.V., Chernykh O.N.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. Currently, various approaches are being used to address the problem of nonlinear distortion: maintaining the transmitted signal level within specified limits, redundant coding, using special modulation formats that are less sensitive to this type of distortion, etc.

УДК 621.383

РАСПОЗНАВАНИЕ КОЛЛИЗИЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДВУХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ В ОДНОЙ ЧАСТОТНОЙ ГРЕБЕНКИ

Потапов Г.С., Морозов О.Г., Нуреев И.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Для случаев измерения частот одновременно нескольких радиосигналов рассмотрены случаи измерения сигналов двух частот одновременно в рамках одного измерительного канала гребенки, что позволило выявить следующие ниже описанные типы коллизий:

– совпадение разностных частот при равном удалении компонент измеряемых частот от компонент частотной гребенки, как показано на рис. 1.

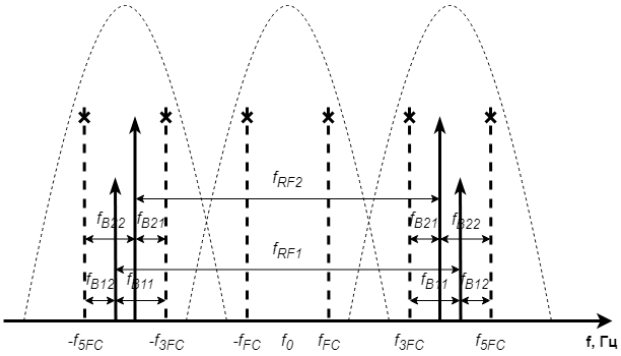


Рис. 1. Схема спектра коллизии биений при измерении частот двух сигналов при совпадении частот биений

Для данной схемы спектра при одновременном измерении частот f_{RF1} и f_{RF2} им будет соответствовать пара частот биений f_{B11} и f_{B12} и пара f_{B21} и f_{B22}. При этом на фотоприемнике будут генерироваться только одна пара частот ввиду попарного равенства значений частот $f_{B11} – f_{B22}$ и $f_{B12} – f_{B21}$. При этом надо сделать замечание, что данный случай возможен как для измерения между компонентами частотной гребенки, так и за её пределами.

– совпадение одной их разностных частот при измерении отличающихся друг от друга частот в границах гребенки и за её пределами, рис. 2.

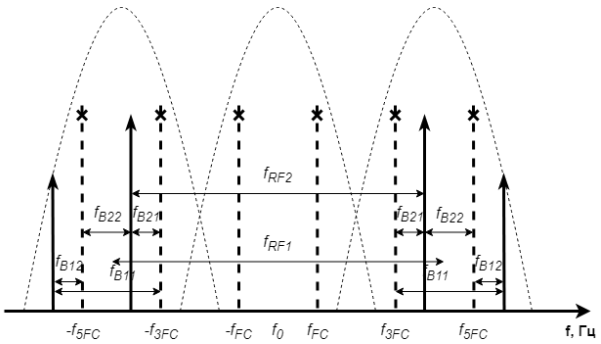


Рис. 2. Схема спектра коллизии биений при измерении частот двух сигналов при совпадении одной из частот биений для двух механизмов измерения.

Данный случай, однако, может быть разрешён путём реализации алгоритма проводящего одновременную обработку согласно обоим механизмам измерения частот для анализа парных составляющих и их различения, так как для измерения без использования наклонного фильтра мощности биений компонент измеряемого сигнала будут равны по мощности, что позволяет определить мощность любой из парных компонент.

Все вышеуказанные коллизии могли бы быть разрешены путём перестройки частоты СВЧ-генератора частотной гребенки [2-4], однако это приведёт к смещению всего спектра частотной гребенки и переходу её отдельных компонент в соседние каналы, что разрушит всю измерительную систему. В связи с этим для расширения возможности измерительной системы, предлагается рассмотреть возможность применения оптической частотной гребенки отличных от равномерной по её огибающей форм, а именно вогнутой и треугольной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.Z. Sakhabutdinov, O.G. Morozov, A.A. Ivanov [и др.] Multiple frequencies analysis in FBG based instantaneous frequency measurements // IEEE Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2018. P. 8350635.

2. R.A. Khabibullin, O.G. Morozov, A.Z. Sakhabutdinov [и др.] Methods of spectrally pure two-frequency radiation forming for terahertz carriers generation in optical range // IEEE Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. P. 7997568.

3. А.М. Ал-Муфти, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Широкополосные и сверхузкополосные пакеты дискретных частот для решения задач спектральной настройки восходящих каналов волоконно-оптических транспортных доменов сетей доступа мобильной связи 5G+ // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2025. Т. 5. № 1. С. 64-89.

4. А.А. Талипов, О.Г. Морозов, Г.И. Ильин [и др.] Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально-эффективной модуляции RZ и CSRZ форматов в оптических сетях доступа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 3-12.

COLLISION DETECTION WHEN MEASURING TWO SPECTRAL COMPONENTS IN A SINGLE FREQUENCY COMB

Potapov G.S., Morozov O.G., Nureyev I.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This study analyzes collision scenarios in frequency measurement systems using an optical frequency comb, where ambiguous results occur when measuring two simultaneous radio signals.

УДК 535.2:681.7

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ПЛАЗМОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ СФЕРЫ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ

Галеев З.З., Мешков И.К., Гизатулин А.Р.
(Уфимский университет науки и технологий)

В условиях растущих требований к точности и миниатюризации медицинских устройств оптоволоконные плазмонные датчики представляют собой перспективное решение для неинвазивного мониторинга биологических параметров. Такие датчики основаны на возбуждении поверхностных плазмонов — коллективных колебаний электронов на границе раздела металл-диэлектрик — в металлических наноструктурах, нанесенных на оптическое волокно. Это позволяет детектировать изменения в окружающей среде через вариации оптических свойств, таких как коэффициент отражения или пропускания, с высокой чувствительностью на уровне нанометров [1]. В медицинской сфере они могут использоваться для измерения концентрации биомаркеров (например, глюкозы или белков), мониторинга pH крови в реальном времени, обнаружения патогенов (вирусов или бактерий) путем иммунологического связывания, а также контроля за дыханием и сердечным ритмом через анализ биологических жидкостей или тканей [2]. Преимущества включают компактность, биосовместимость и возможность интеграции в эндоскопы или имплантируемые устройства. Однако ключевой проблемой является обеспечение высокой чувствительности и стабильности в биологических жидкостях, где присутствуют шумы от флуктуаций температуры, механических вибраций и интерференции с другими молекулами, что может снижать точность измерений до 10-20%.

Предлагаемый подход к анализу оптоволоконных плазмонных датчиков базируется на комплексном моделировании распространения света в волоконных структурах, оснащённых плазмонными элементами. Для этого используется программная среда COMSOL Multiphysics, позволяющая применять методы конечных элементов для детального исследования электромагнитных полей и их взаимодействия с плазмонными резонаторами, расположенными на поверхности или внутри оптического волокна.

В рамках моделирования учитываются ключевые параметры оптических волокон, включая их геометрические размеры, материал изготовления и длину исследуемого участка, что позволяет корректно воспроизвести условия распространения светового сигнала. Особое внимание уделяется характеристикам плазмонных слоев — толщине металлических нанопокрытий, обычно из благородных металлов, а также форме и конфигурации наноструктур, которые влияют на резонансные свойства и чувствительность датчика.

Кроме того, в модель вводятся параметры биологических сред, с которыми взаимодействует датчик, такие как показатель преломления и концентрация целевых аналитов, что важно для оценки изменений оптических характеристик при анализе биологических образцов.

Процесс моделирования включает этапы оптимизации геометрии и конфигурации датчика с целью максимизации его чувствительности к изменениям исследуемых параметров. При этом учитывается влияние различных источников шума, возникающих в реальных условиях эксплуатации, а также температурные воздействия, способные вызывать сдвиги резонансных характеристик. Для повышения надёжности и точности измерений вводятся механизмы компенсации температурных эффектов и фильтрации шумов.

Важной частью работы является разработка и анализ схем интеграции плазмонных датчиков с существующими медицинскими приборами, такими как оптические спектрометры, что обеспечивает возможность практического применения технологии в клинических условиях. Для оценки точности и воспроизводимости результатов используются методы калибровки, позволяющие определить коэффициенты коррекции и минимизировать систематические ошибки измерений.

Таким образом, предложенный подход обеспечивает комплексное понимание работы плазмонных оптоволоконных датчиков, позволяет оптимизировать их конструктивные и функциональные характеристики и способствует успешной интеграции в медицинские диагностические системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Homola J., Yee S. S., Gauglitz G. Surface plasmon resonance sensors: review // Sensors and Actuators, B: Chemical. 1999. Vol. 54. No. 1-2. pp. 3-15.

2. Rahmasari L. et al. Surface plasmon resonance-based sensor for Escherichia coli monitoring with novel green-synthesized silver/rGO/L-Histidine as an interface layer // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 2025. Vol. 256. p. 118350.

OPTICAL FIBER PLASMONIC SENSORS FOR MEDICAL SERVICES

Galeev Z.Z., Meshkov I.K., Gizatulin A.R.
(Ufa University of Science and Technology)

Optical fiber plasmonic sensors are proposed for medical applications, utilizing modeling in COMSOL Multiphysics to optimize sensitivity and stability for non-invasive biological monitoring, including biomarker detection and pathogen identification. The approach addresses challenges in biological environments through finite element analysis of light-plasmon interactions. Integration with medical devices ensures accurate measurements.

УДК 535-7

МАЛОМОДОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКОНА С «РЕВОЛЬВЕРНОЙ» СТРУКТУРОЙ

Галеев З.З., Мешков И.К., Гизатулин А.Р.
(Уфимский университет науки и технологий)

Маломодовые оптические волокна с «револьверной» структурой открывают новые горизонты в области оптических телекоммуникаций, предлагая эффективное решение для увеличения пропускной способности систем передачи данных (Рис. 1). В эпоху экспоненциального роста трафика данных традиционные одномодовые волокна приближаются к своим пределам, что стимулирует переход к технологиям пространственного разделения каналов (space-division multiplexing, SDM). Эта концепция позволяет использовать несколько пространственных мод в одном волокне, значительно повышая емкость без значительного увеличения сложности инфраструктуры, и тем самым преодолевая барьеры, связанные с нелинейными эффектами и ограничениями емкости.

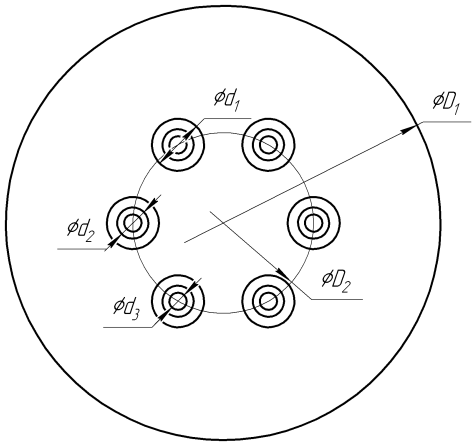


Рис. 1. Сечение «револьверной» структуры оптического волокна

Формулы SDM основывается на принципах мультиплексирования, где волокна поддерживают множество мод, обеспечивая параллельную передачу сигналов. Классификация включает волокна с некоплированными модами, где минимизируется перекрестная связь, и волокна с коплированными модами, где такая связь компенсируется цифровой обработкой сигналов. В контексте маломодовых волокон особый интерес представляет «револьверная» структура, имитирующая кольцевое расположение жил или мод, что позволяет достигать высокой плотности и ортогональности мод. Это обеспечивает стабильность передачи и упрощает интеграцию в существующие сети, делая такие волокна привлекательными для масштабируемых приложений [1-2].

Ключевыми компонентами SDM-систем являются устройства мультиплексирования и демультиплексирования, которые обеспечивают переход от одномодовых входов к многомодовым волокнам. Фотонные фонари, представляющие собой адиабатические структуры, позволяют эффективно

возбуждать и разделять моды с минимальными потерями, адаптируясь к различным типам волокон, включая те с кольцевой геометрией. Спот-мультиплексоры и интеграция в кремниевые платформы добавляют гибкости, способствуя компактности и универсальности систем. Для усиления сигналов в SDM используются специализированные усилители, где оптимизируется распределение энергии для минимизации различий в усилении мод.

Несмотря на очевидные преимущества, SDM сталкивается с вызовами, такими как управление потерями, связанными с модами, и обеспечение совместимости с существующими технологиями. Однако перспективы развития, включая интеграцию с волноводными переключателями и дальнейшую оптимизацию материалов, обещают существенное повышение емкости оптических сетей. «Револьверная» структура волокон играет здесь ключевую роль, способствуя компактности и эффективности, что делает её перспективной для будущих телекоммуникационных систем.

В итоге, маломодовые оптические волокна с «револьверной» структурой представляют собой фундаментальный шаг в эволюции оптических технологий, предлагая путь к сверхвысоким емкостям при сохранении надежности и масштабируемости. Их развитие не только отвечает на текущие вызовы, но и закладывает основу для инноваций в области передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Berdagué and P. Facq, "Mode division multiplexing in optical fibers," Appl. Opt. 21, 1950-1955 (1982)

2. R. Ryf, S. Randel, A. H. Gnauck, C. Bolle, R. -. Essiambre, P. J. Winzer, D. W. Peckham, A. McCurdy, and R. Lingle, "Space-division multiplexing over 10 km of three-mode fiber using coherent 6 × 6 MIMO processing," in Optical Fiber Communication Conference/National Fiber Optic Engineers Conference 2011, OSA Technical Digest (CD) (Optica Publishing Group, 2011), paper PDPB10.

SMALL-MODE OPTICAL FIBERS WITH A "REVOLVING" STRUCTURE

Galeev Z.Z., Meshkov I.K., Gizatulin A.R.
(Ufa University of Science and Technology)

Few-mode optical fibers with a "revolver" structure are proposed for advanced telecommunications applications, utilizing modeling in COMSOL Multiphysics to optimize mode density and orthogonality for high-capacity data transmission. The approach addresses challenges in spatial mode management through finite element analysis of light propagation and mode interactions. Integration with multiplexing devices ensures efficient signal handling.

УДК 537.86 + 621.396.67

ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ КИРАЛЬНОМ СЛОЕ С НАНЕСЕННОЙ ГРАФЕНОВОЙ ПОЛОСКОЙ

[1,2]Нещерет А.М.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики; [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

В работе рассматривается задача дифракции электромагнитной волны на оптически активном киральном слое с нанесенной графеновой полоской. Геометрия данной структуры приведена на рис. 1.

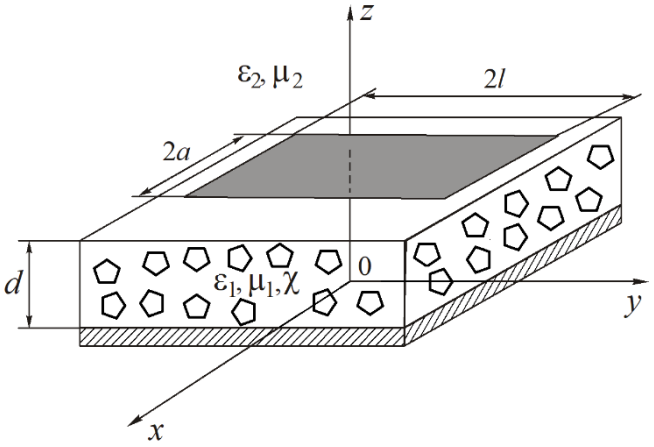


Рис. 1. Оптически активный киральный слой с нанесенной графеновой полоской

Графен – это двухмерная гексагональная структура, состоящая из углеродных атомов, организованных в сеть. Его уникальное строение обуславливает ряд исключительных физических характеристик, включая особые оптические свойства [1].

Одно из важных свойств графена в оптическом (инфракрасном) диапазоне длин волн является способность с разной степенью поглощать электромагнитные волны в зависимости от уровня приложенного приложения стороннего напряжения (разности потенциалов) или дополнительного легирования. Другими важными свойствами графена является сверхвысокая подвижность электронов и большая адсорбционная способность.

Вышеперечисленные свойства открывают перспективы для создания широкополосных поглотителей с насыщением, предназначенных для использования в сверхбыстрых лазерных системах, электрооптических модуляторов и фотоприемников, способных работать на сверхвысоких скоростях, а также в системах биохимическом зондировании.

С целью интенсификации светового взаимодействия в оптоэлектронных устройствах на основе графена, последний интегрируют с широким спектром фотонных платформ, включающих плазмонные резонаторные структуры, волоконно-оптические элементы и фотонные интегральные схемы. За последнее десятилетие было опубликовано значительное количество исследований, представляющих различные примеры интеграции графена в волноводные

структуры. Интерес представляет рассмотреть задачу взаимодействия электромагнитных волн с графеновой полоской, которая нанесена на оптически активный киральный слой.

Рассматривается оптически активная киральная структура, металлизированная с нижней стороны. Для оптически активной киральной среды (ОАКС) классические материальные уравнения уже не подходят, в связи с чем, необходимо использовать уравнения вида [2]:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_1 \vec{E} \mp i\chi\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}\vec{H}, \quad \vec{B} = \mu_0 \mu_1 \vec{H} \pm i\chi\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}\vec{E} \tag{1}$$

где ε_1 и μ_1 — относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости ОАКС (в оптике $\mu_1 = 1$); χ — относительный параметр оптической активности.

На поверхности ОАКС расположена полоска из графена конечной длины $2l$ и ширины $2a$, проводимость которой составляет σ_g [1]:

$$\sigma_g = \sigma' + \sigma''|\kappa|^2(\xi) \tag{2}$$

где σ' и σ'' — комплексные проводимости, $|\kappa|^2(\xi)$ — нелинейный множитель.

Над указанной структурой расположено диэлектрической полупространство с параметрами ε_2 и μ_2.

Задачу дифракции предлагается решать методом спектральных областей [3] с учетом граничного условия конечной комплексной проводимости графеновой полоски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихов С. В. Задача дифракции ТЕ-волны на двумерном слое, покрытом графеном, с учетом нелинейности // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 4. С. 73–85.

2. Abramov V., Osipov O., Klyuev D., Neshcheret A. Characteristics of a circular optical waveguide made of chiral metamaterial // Proceedings of ITNT 2021 – 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. 7. 2021.

3. Бузов А.Л., Клюев Д.С., Копылов Д.А., Нещерет А.М. Математическая модель двухэлементной микрополосковой излучающей структуры с подложкой из кирального метаматериала // Радиотехника и электроника. 2020. Т. 65, № 4. С. 380-387.

DIFFRACTION OF AN ELECTROMAGNETIC WAVE ON AN OPTICALLY ACTIVE CHIRAL LAYER WITH AN APPLIED GRAPHENE STRIP

[1,2]Neshcheret A.M.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, [2]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems")

The paper considers the problem of diffraction of an electromagnetic wave on an optically active chiral layer with a graphene strip applied.

УДК 681.586.5

ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Силантьева А.А., Веретенина И.Ю., Силантьев М.В., Пигасов С.В.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

Современная медицина все больше ориентируется на использование инновационных технологий для повышения эффективности реабилитационных мероприятий. Особенно актуальной является разработка устройств, которые позволяют контролировать и корректировать восстановительные процессы в режиме реального времени, обеспечивая пациентам комфорт и безопасность. В этом контексте особое значение приобретает создание неинвазивных, портативных средств для реабилитации голеностопного сустава с применением волоконно-оптических технологий.

Голеностоп — это сложный сустав, отвечающий за амплитуду движений, баланс и перенос веса. После травм или хирургических вмешательств его восстановление требует точного контроля за нагрузками и движениями. Традиционные методы реабилитации часто предполагают использование громоздких устройств или требуют постоянного присутствия специалиста, что ограничивает возможности самостоятельного восстановления и увеличивает временные и финансовые затраты. В связи с этим актуальной задачей становится создание компактного, неинвазивного устройства, которое можно было бы использовать в домашних условиях, обеспечивая при этом высокую точность измерений [1].

Одной из ключевых технологий, лежащих в основе разработки, являются волоконно-оптические датчики. Они обладают рядом преимуществ: высокая чувствительность, устойчивость к электромагнитным помехам, малые размеры и гибкость, что позволяет интегрировать их в носимые устройства. Использование волоконно-оптических технологий обеспечивает точное измерение движений, нагрузок и деформаций в суставе без необходимости внедрения инвазивных элементов [2].

Важной этапом задачи разработки такого устройства является создание алгоритмов для анализа данных, полученных с датчиков, с целью оценки степени восстановления и автоматической корректировки реабилитационных нагрузок.

Не менее важна задача обеспечения надежной фиксации датчиков на поверхности сустава и защиты волоконных элементов от механических повреждений и внешних воздействий. В рамках разработки также необходимо моделировать работу системы, проводить экспериментальные испытания прототипа для определения точности и удобства использования [2].

Практическая значимость разработки заключается в возможности обеспечить своевременный контроль за прогрессом восстановления,

автоматизировать процесс корректировки нагрузок и снизить нагрузку на медицинский персонал. Такой подход повысит качество и скорость восстановления функции голеностопа, снизит риск повторных травм и улучшит качество жизни пациентов. В перспективе, созданное устройство может стать основой для систем телемедицины и удаленного мониторинга, что особенно актуально в условиях ограничений и необходимости дистанционного медицинского обслуживания.

В целом, задачи разработки неинвазивного мобильного средства для реабилитации голеностопного сустава с использованием волоконно-оптических технологий ориентированы на создание инновационного, безопасного и эффективного инструмента, способного значительно повысить качество реабилитационных мероприятий и расширить возможности современной медицины. Внедрение таких решений обещает стать важным шагом в направлении персонализированной, удаленной и высокоточной реабилитации, что соответствует современным требованиям к развитию здравоохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Domingues M., Alberto N., Leitão C., Tavares C., Lima E., Radwan A., Sucasas V., Rodriguez J., André P., Antunes P. Insole optical fiber sensor architecture for remote gait analysis — an eHealth solution // IEEE Internet of Things. 2017. T. 6. C. 207–213. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2723263.

2. Al-Fakih E., Osman N., Adikan F. The use of fibre Bragg grating sensors in biomechanics and rehabilitation applications: the state-of-the-art and ongoing research topics // Sensors. 2012. T. 12. C. 12890–12926. DOI: 10.3390/s121012890.

THE TASK OF DEVELOPING A WEARABLE DEVICE FOR REHABILITATION OF THE ANKLE JOINT: USING A FIBER-OPTIC SENSOR FOR NON-INVASIVE MEASUREMENTS

Silantyeva A.A., Veretenina I.Yu., Silantyev M.V., Pigasov S.V.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This work is devoted to the development of a non-invasive wearable device for ankle rehabilitation using fiber-optic technologies. The main thesis is that the creation of compact and precise devices based on fiber-optic sensors makes it possible to monitor and adjust recovery processes in real time, increasing the effectiveness and safety of therapy. This approach reduces the need for a specialist's constant presence, allows monitoring and automatic load adjustment at home, and also expands the possibilities of telemedicine and remote patient monitoring. The implementation of such solutions helps to accelerate recovery, reduce costs and improve the quality of life of patients.

УДК 681.586.5

ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА С ИНТЕРФЕРОМЕТРОМ ФАБРИ - ПЕРО ДЛЯ НЕИНВАЗИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Силантьева А.А., Корпачев Ю.А., Лысов А.Ю., Сергеев В.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

В настоящее время проблема восстановительного процесса голеностопного сустава имеет большое распространение среди населения разных возрастов. Она возникает при хронической нестабильности голеностопа, осложнении после операции, отсутствие восстановления нормального движения [1].

Для решения последнего было предложено создать носимое устройство, в основе которого лежит волоконно-оптический датчик с применением интерферометра Фабри-Перо. Преимуществом использования такого датчик является невосприимчивость к электромагнитным помехам, биосовместимость, малый размер, гибкость, способность к мультиплексированию и высокая точность. Поскольку в точке измерения не требуется электричество /ток, эта технология обеспечивает безопасность, необходимую для работы во влажных или влажных средах, таких как процедуры физиотерапии с выделением пота стела или на водной основе [1].

Использование носимых устройств в сочетании с передовыми достижениями в области беспроводных технологий обещает обеспечить подходящие решения для дистанционных методов физической реабилитации, позволяя испытуемому выполнять контролируемые лечебные упражнения, не выходя из дома, с возможностью непрерывного дистанционного управления. Кроме того, такие решения можно использовать постоянно, во время обычных ежедневных процедур, для тщательного мониторинга прогресса реабилитации во время обычных повседневных занятий.

Предполагается, что это решение значительно сократит поток пациентов в больницы и медицинские центры; таким образом, сократив затраты, связанные с такими видами физиотерапии. Кроме того, хранение медицинских данных для дальнейшего анализа не только помогает понять эволюцию пациента, но и позволяет понять тенденции в области здравоохранения в данном сообществе.

При рассмотрении вопроса об использовании носимых устройств для лечения ослабленных граждан следует быть уверенным, что эти носимые устройства не мешают нормальному распорядку дня пациентов и не ограничивают диапазон их движений. Таким образом, сборка носимых устройств должна быть тщательно продумана, начиная с этапа производства и заканчивая внедренными чувствительными механизмами. Датчики являются ключевыми элементами любого носимого решения, поскольку они устраняют разрыв между физическими событиями и данными, которые представляют эти события.

Следовательно, точность таких физических средств должна быть всегда гарантирована, поскольку они отвечают за общую производительность носимых устройств и данные, предоставляемые медицинским персоналом для постановки диагноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Domingues M., Tavares C., Alberto N., Radwan A., André P., Antunes P. High rate dynamic monitoring with Fabry–Perot interferometric sensors: an alternative interrogation technique targeting biomedical applications // Sensors. 2019. T. 19. № 47. C. 4744(11 c.). DOI: 10.3390/s19214744.

TASK OF DEVELOPING A PORTABLE DEVICE FOR REHABILITATION OF THE ANKLE JOINT USING A FIBER-OPTIC SENSOR WITH A FABRY-PEROT INTERFEROMETER FOR NON-INVASIVE MEASUREMENTS

Silantyeva A.A., Korpachev Yu.A., Lysov A.Yu., Sergeev V.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper considers the problem of restoring the function of the ankle joint, which is relevant for various age groups. It is proposed to create a wearable device based on a fiber-optic sensor with a Fabry-Perot interferometer, which has high accuracy, biocompatibility and resistance to electromagnetic interference. The use of this technology ensures safe measurements in humid conditions and promotes the development of remote physiotherapy. The introduction of wearable devices with wireless capabilities will allow monitoring the rehabilitation process remotely, increase the effectiveness of treatment, reduce the burden on medical institutions and ensure continuous monitoring of progress. Special attention is paid to the issues of convenience and accuracy of measurements, as well as the need for careful design of devices for their safe and efficient operation.

UDK 681.586.5

ANALYSIS AND SIMULATION OF MULTI-FREQUENCY MODULATION IN PHOTONICS FOR FLAT-PULSE GENERATION AND ADVANCED 5G OPTICAL COMMUNICATION CHANNEL TUNING

[1] Ali M. Almufti, [1]O. G. Morozov, [2]Ruaa Abbas hasson

([1]Department for Radio-Photonics and Microwave Technologies Kazan National Research Technical University n.a. A.N. Tupolev-KAI, [2]Department of Forensic Evidence, College of Science, Al-Nahrain University)

Electro-optical modulation using Mach-Zehnder modulators (MZMs) is one of the most important, versatile and controllable optical frequency comb generation techniques, effectively enabling the generation of pulses with tunable spacing and stable phase coherence for all comb teeth, and is one of the most important criteria for establishing coherent optical communications [1]. In this paper, we present the analysis and simulation results of dual-frequency photonic modulation to realize flat-shell optical combs, the methods used to fine-tune the optical system components to control the pulse spacing using a single-port Mach-Zehnder modulator.

Dual-frequency modulation is a practical alternative, in which two non-harmonic frequency pulses are incorporated into a single-port Mach–Zehnder modulator. The advantages of this method include simple configuration, operational stability, optical wavelength modulation, and accurate radio frequency spacing between the lines that form the comb [2], [3].

Let the modulating voltage be:

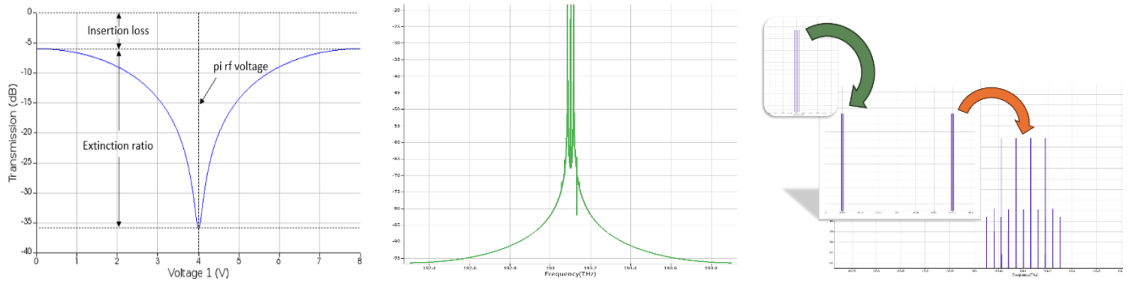
$$V(t) = V_1 \cos(\omega_1 t) + V_2 \cos(\omega_2 t) \qquad (1)$$

And the modulation transfer function [4], [8]:

$$E_{out}(t) = E_0 \cos\left(\frac{\pi V(t)}{V_\pi} + \phi_b\right) \qquad (2)$$

where Vπ is the half-wave voltage and ϕ_b the bias phase. In this paper, two frequencies, 14.9 GHz and 15.1 GHz, are applied to a single-port phase-shift modulator (MZM), generating a pulse difference of 0.2 GHz. Constructive interference between the side harmonics of the two input frequencies is compensated by Bessel amplitude decay, resulting in near-uniform amplitude optical power pulses that form the flat comb. We refer to previous research in our work [3], [4].

The proposed optical system consists of a laser source with a frequency of 193.1 THz, and a sinusoidal generator to generate the required data frequency. A single-port Mach-Zehnder modulator, biased near the squared Q point as shown in Fig. 1a to ensure linear modulation and low distortion, applied two different conditions. The first was a frequency of 15 GHz from the sinusoidal generator, creating a symmetrical three-line optical comb with uniform amplitude separation of ≈15 GHz as shown on Fig. 1b.



a) b) c)

Fig. 1. a) *Q-Point characteristic (MZM);* b) 3-pulse optical comb; c) 8-pulse optical comb

Two sinusoidal RF sources operating at 14.9 GHz and 15.1 GHz were amalgamated using a summing element (SUM_1) to actuate the same balanced single-drive (MZM). The resultant comb exhibits eight prominent lines with $\Delta f = 0.2$ GHz symmetrically arranged around the carrier see Fig. 1c.

The results of the optical system simulations confirmed the feasibility of creating a precise optical channel using a single-motor balanced Mach-Zehnder modulation. A flat optical comb could be generated using a single frequency in the first case and two different (non-coherent) frequencies in the second, producing five lines that were spaced and had nearly identical amplitudes. Furthermore, dual-frequency excitation (14.9 GHz + 15.1 GHz) enhanced the spectral density, resulting in the production of multi-line flat combs with a spacing of 0.2 GHz.

REFERENCES

1. J. Capmany And D. Novak, “Microwave Photonics Combines Two Worlds,” Nat. Photonics, Vol. 1, No. 6, Pp. 319–330, Jun. 2007, Doi: 10.1038/Nphoton.2007.89.

2. Н. М. Р. И Другие. Талипов А.А., Морозов О.Г., “Метод Формирования Двухчастотного Излучения Для Синтеза Солитонов И Применения Спектрально-Эффективной Модуляции Rz И Csrz Форматов В Оптических Сетях Доступа,” Вестник Поволжского Государственного Технологического Университета. Серия Радиотехнические И Инфокоммуникационные Системы", Vol. № 2 (16)., Pp. 3–12, 2012.

3. О. Морозов, Г. Морозов, М. Нургазизов, And А. Талипов, “Optoelectronic Systems For Radiosignals Instantaneous Frequency Measuring With An Amplitude-Phase Modulation Conversion Of Optical Carrier,” Appl. Photonics, No. 2, Pp. 5–23, Mar. 2015, Doi: 10.15593/2411-4367/2014.2.01.

4. А. Ж. С. А. М. Аль-Муфти, О. Г. Морозов, “Широкополосные И Сверхузкополосные Пакеты Дискретных Частот Для Решения Задач Спектральной Настройки Восходящих Каналов Волоконно-Оптических Транспортных Доменов Сетей Доступа Мобильной Связи 5g+,” Электроника, Фотоника И Киберфизические Системы, Vol. Т. 5., No. № 1., Pp. 64–89, 2025.

УДК 621.39

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ

Валиуллин Ш.Р., Данилаев Д.П.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

1. Введение

Современные спутниковые и наземные каналы связи испытывают возрастающую нагрузку из-за потребности в высокой пропускной способности, потоковых сервисах и обеспечении безопасности передачи данных. Классические радиоканалы ограничены по полосе и подвержены помехам, что стимулирует поиск альтернативных технологий. Оптическая связь в свободном пространстве (FSO, Free - Space Optical) рассматривается как перспективное решение, способное обеспечивать высокую скорость передачи данных при низкой энергетической мощности сигнала.

2. Проблематика и ограничения FSO

На рисунке 1, представлено прохождение оптического сигнала через атмосферную среду. Основные препятствия для FSO-систем - атмосферное поглощение и рассеяние, турбулентность, вызывающая блуждание и расширение луча, ошибки наведения (pointing errors) при движущихся платформах, например, спутниках. потери на дивергенцию луча. Оптимальные длины волн для FSO-связи - на длинах волн видимого света - 400 … 800 нм, в ближнем ИК-диапазоне 1550 нм, что минимизирует рассеяние и повышает безопасность линии [1].

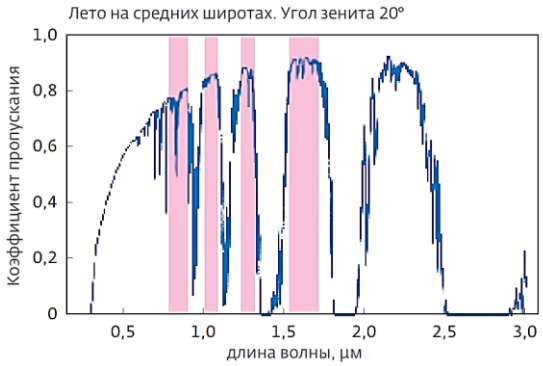


Рис. 1. Коэффициент пропускания атмосферы в зависимости от длины волны (выделены видимые и ближние инфракрасные окна связи) [1]

3. Однофотонные детекторы (СПД / SPDs)

Использование СПД позволяет детектировать сигналы на уровне единичных фотонов, что критически важно при экстремально ослабленных каналах. Основные характеристики: темновой счёт, временной джиттер, эффективность детектирования. Режимы работы - Free-running – постоянная готовность, Gated mode - работа детектора ограничена синхро - сигналом.

4. Применение и перспективы

Данная технология впервые была использована в 2001 г., однако до текущего времени активно не использовалась. В настоящее время, она получила активное развитие в компании SpaceX для связи между спутниками, и увеличения пропускной способности канала. На рис. 2. слева представлена оптическая система Starlink v2, обеспечивающая до 25 Гбит/с на расстоянии до 4000 километров. На рис.2 справа представлено аналогичное решение NASA, проекта Lunar Laser Communication Demonstration (LLCD), успешно проведенного сеанс связи со скоростью 622 Mbps на расстоянии 385 000 km [2].

Рис. 2. Изображение терминала оптической линии связи, A – терминал Starlink, B - терминал LLCD NASA

5. Заключение

Однофотонные детекторы открывают новые возможности для высокочувствительной и безопасной оптической связи. Их применение позволяет работать на минимальных уровнях мощности, повышать пропускную способность канала, интегрировать квантовые протоколы связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санджинетти, Б., Амри, Э., Ришоу, Ф. Однофотонные детекторы для атмосферных оптических линий связи // Фотоника. - 2017. - № 3. - С. 56-69. - DOI: 10.22184/1993-7296.2017.63.3.56.69. - Режим доступа: https://www.photonics.su / files/article_pdf/6/article_6022_888.pdf. - Дата обращения: 12.10.2025.

2. Ульрих, М., Тосс, А. Лазерные терминалы связи: начало тихой революции / М. Ульрих, А. Тосс // Photonics.com. - 2024. - [Электронный ресурс] / URL: https://www.photonics.com/Articles/Laser-Communication-Terminals-Spark-a-Silent/a70691. - Дата обращения: 12.10.2025.

PROMISING COMMUNICATION TECHNOLOGIES BASED ON SINGLE-PHOTON DETECTORS

Valiullin Sh.R., Danilaev D.P.

(National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Modern satellite and terrestrial communication channels are under increasing strain due to the demand for high bandwidth, streaming services, and secure data transmission. Traditional radio channels are limited in bandwidth, spurring the search for alternative technologies. Free-Space Optical (FSO) is seen as a promising solution capable of providing high data rates with low signal power.

УДК 621.383

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЁТКИ НА ПЛАТФОРМЕ КНИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Мбангуе Маньянана А. Н., Шайгарданова А.Р., Воронков Г.С., Топольская Е.П.
(Уфимский университет науки и технологий)

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью комплексного анализа потенциала оптических вычислений на базе интегральной фотоники, а также разработкой и исследованием фотонных компонентов, способных выполнять математические операции.

В контексте работы рассматривается система приема оптических сигналов с функцией накопления. Традиционно такие системы включают в себя фотодиоды, трансимпедансные усилители и аналого-цифровые преобразователи. Однако при увеличении количества входных каналов и объема обрабатываемой информации классическая архитектура становится неэффективной. Одним из потенциальных решений выступает реализация функции предварительной обработки и интегрирования сигнала средством волноводной Брэгговской решётки (ВБР).

Для получения желаемой функции интегратора ВБР проектируется с использованием метода пространственной модуляции ширины волновода или глубины травления. Этот подход позволяет создавать профиль отражения, максимально приближенный к отклику $H(f) \approx 1/j2\pi f$, характерному для идеального интегратора. Практическая реализация подобной решетки показана в публикации [1] на основе (π-)смещенных по фазе ВБР. Такая структура обладает синусоидальным рельефом вдоль боковых стенок волновода с сегментом, реализующим фазовый сдвиг, расположенным посередине ВБР. Синусоидальный закон изменения ширины волновода был выбран для минимизации потерь на рассеяние, при условии сохранения высокого коэффициента связи, благодаря настройке глубины модуляции.

Наиболее подходящей платформой интегральной фотоники для реализации выбранной конфигурации ВБР является кремний на изоляторе (КНИ). Базовая геометрия волноводов для ВБР была рассчитана для обеспечения одномодового режима (TE00): высота волновода составила 220 нм, ширина – 500 нм. Расчеты производились на рабочей длине волны в 1550 нм. Был определен период ВБР – 323 нм, а также её длина – 350 мкм и глубина гравировки боковых стенок волновода – 20 нм. Далее, по рассчитанным значениям была разработана имитационная модель ВБР в программном обеспечении Ansys Lumerical, пакет Mode (рис.1). Расчёты показали, что отражающий пик ВБР наблюдается в близи 1550 нм, с шириной полосы по уровню -3 дБ порядка 8–10 нм.

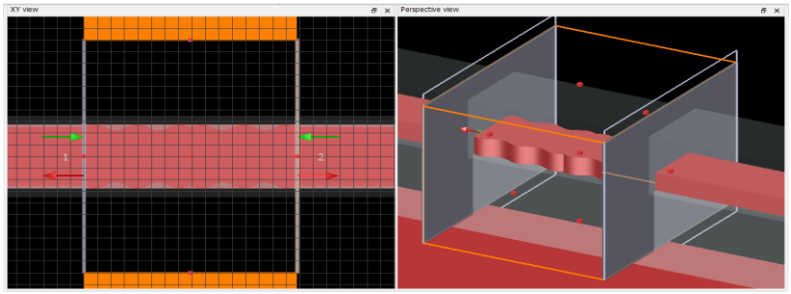


Рис. 1. Модель ВБР в пакете MODE: а) в плоскости XY, б) в перспективе

На следующем этапе модель ВБР была импортирована в пакет Lumerical Interconnect для подтверждения заложенного функционала. Для этого на вход ВБР были последовательно поданы сигналы от источника оптического излучения синусоидальной и косинусоидальной формы, после чего регистрировался сигнал на выходе ВБР (рис.2).

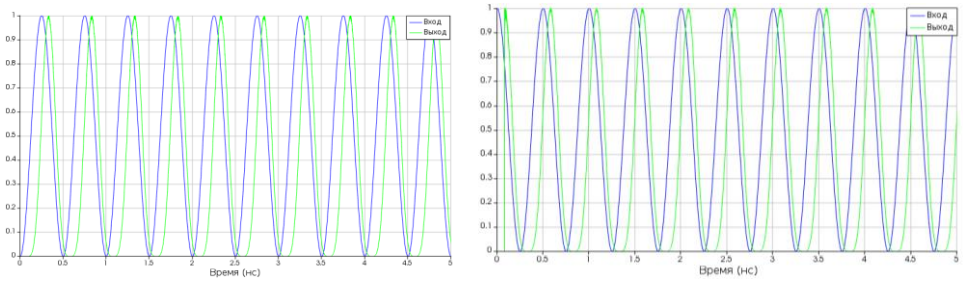


Рис. 2. Осциллограммы сигнала на входе и выходе ВБР: а) синусоидальный сигнал на входе, б) косинусоидальный сигнал на входе

Результаты моделирования подтвердили, что временные и спектральные характеристики сигналов на выходе ВБР соответствуют теоретическим значениям.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K.A. Rutkowska, D. Duchesne, M.J. Strain, R. Morandotti, M. Sorel, and J. Azaña, "Ultrafast all-optical temporal differentiators based on CMOS-compatible integrated-waveguide Bragg gratings," Opt. Express 19, 19514-19522 (2011).

NUMERICAL SIMULATION OF A WAVEGUIDE BRAGG GRATING ON A SOI PLATFORM TO PERFORM THE INTEGRATION OPERATION

Mbangue Manyanana A. N., Shaigardanova A.R., Voronkov G.S., Topolskaya E.P.
(Ufa University of Science and Technology)

The article presents numerical simulation of a Bragg waveguide grating on a SOI platform performing a mathematical integration function.

Секция 2. Пассивные и активные оптические компоненты волоконно-оптических линий связи и информационно-измерительных систем

УДК 621.391.6

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ НА ОСНОВЕ ДВУХРЕЗОНАТОРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

Головина Е.Ю.

(Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО «УГНТУ» в г. Салавате)

Современные телекоммуникационные системы предъявляют всё более высокие требования к скорости, энергоэффективности и задержкам. Это особенно актуально для двух областей: систем beamforming в сетях 5/6G миллиметрового диапазона [1], где необходима динамическая перестройка антенных решеток для отслеживания узких лучей, и для оптических коммутационных систем в центрах обработки данных (ЦОД) [2].

Существующие коммерческие оптические коммутаторы (механические, электрооптические, акустооптические, термооптические) [3] в основном относятся к классу коммутаторов оптических потоков (каналов), характеризуются реляционным управлением (требуют отдельного управляющего сигнала) и не обеспечивают достаточно высокого быстродействия для коммутации оптических сигналов (пакетов). Технологии Ultrafast All-Optical Switching [4], основанные на фотонных кристаллах, работают на фемтосекундных временах, но ориентированы на переключение одиночных фотонов и малоприменимы для традиционных многофотонных волоконно-оптических систем (ВОС), работающих по стандарту G.703. Таким образом, существует потребность в разработке многопортовых, быстродействующих и нереляционных переключателей, способных коммутировать оптические пакеты в традиционных ВОС.

В качестве решения предлагается волоконно-оптическое устройство на основе двухрезонаторного интерферометра Фабри-Перо (ДИФП) [5]. Переключение (перенаправление) сигнала осуществляется на основе его функции чирпа $C_\lambda(t)$ [6]. Управление чирпом может выполняться полностью оптическим способом. Это реализует нереляционное управление, когда управляющая информация переносится в самом переключаемом сигнале.

Устройство состоит из градиентного смесителя, который изготовлен из материала с градиентом показателя преломления $\kappa = \mathrm{grad}(n(r,z))$, что компенсирует искажения интерференционной картины. Гребенчатого выходного зеркала, которое образовано торцами множественных выходных и дополнительных световодов, собранных в ступенчатую структуру. Это позволяет создать многопортовую систему. И второго резонатора, образованного дополнительными световодами, который повышает резкость интерференционной картины. Максимальная резкость достигается при соотношении мощностей в резонаторах $P_1/P_2 \sim 2.7...2.8$. Спектральная

избирательность устройства позволяет разделять входной сигнал по выходным портам в зависимости от мгновенной длины волны (чирпа) с высокой разрешающей способностью (в диапазоне 0,001–0,01 нм) [7].

Устройство может найти применение в Radio-over-Fiber (RoF) сетях для управления антенными решетками и в оптических пакетных сетях ЦОД для снижения задержек и повышения эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sahinel D., Rommel S., Monroy I. T. Resource Management in Converged Optical and Millimeter Wave Radio Networks: A Review // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 221. https://doi.org/10.3390/app12010221.

2. Xuwei Xue, Shaojuan Zhang, Bingli Guo, Wei Ji, Rui Yin, Bin Chen, Shanguo Huang. Optical Switching Data Center Networks: Understanding Techniques and Challenges // Computer Networks and Communications. 2023. Vol. 1. P. 272–291.

3. Sasikala V., Chitra K. All optical switching and associated technologies: a review // Journal of Optics. 2018. Vol. 47. P. 307–317. DOI:10.1007/s12596-018-0452-3.

4. Zhao Y. et al. Ultrafast optical switching using photonic molecules in photonic crystal waveguides //Optics express. 2015. Vol. 23. No. 7. P. 9211-9220. DOI:10.1364/OE.23.009211.

5. Виноградова И. Л. Характеристики двухрезонатороного интерферометра Фабри-Перо // Радиотехника. 2002. № 6. С. 33–39.

6. Agrawal G. P. Nonlinear fiber optics. – Boston: Academic Press, 2009. –466 p.

7. Абдрахманова Г. И., Андрианова А. В., Виноградова И. Л., Грахова Е. П., Зайнуллин А. Р., Ишмияров А. А., Мешков И. К., Султанов А. Х., Чириков Р. Ю. Устройство для разветвления и чирпирования оптических сигналов // Патент на полезную модель RUS 163995 U1. Опубл. 20.08.2016.

HIGH-SPEED ALL-OPTICAL SWITCHING BASED ON A TWO-RESONATOR FABRY-PEROT INTERFEROMETER

Golovina E.Yu.

(Institute of Oil Refining and Petrochemistry of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "USPTU" in Salavat)

An all-optical switch based on a Fabry-Perot interferometer is proposed. The device provides non-relational packet switching via signal chirp analysis (selectivity 0.001–0.01 nm) without electronic control. The application is promising for 5/6G Radio-over-Fiber antenna arrays and reducing delays in data centers.

УДК 621.397:004.932

СПОСОБ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ ОТОБРАЖЕНИЯ СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ВИДЕОКАМЕР

Куляс О.Л., Лошкарев А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одной из важных характеристик сверхширокоугольных объективов типа «fisheye», обладающих сильной дисторсией, является функция отображения (mapping function). Данная функция используется для описания зависимости координат точечного объекта y'_r в полярной системе координат от фокусного расстояния f используемого объектива и угла наблюдения, который можно выразить как θ: $y'_r = \varphi(f, \theta)$. В зависимости от производителя, поведение данной функции может варьироваться. В литературе описаны четыре вида функций отображения [1]:

– equidistance: $r = f\ \theta$;

– orthographic: $r = f\ \sin(\theta)$;

– stereographic: $r = 2f\ \mathrm{tg}(\theta / 2)$;

– equisolid angle: $r = 2f\ \sin(\theta / 2)$.

На практике данные виды функций отображения требуют уточнения в зависимости от решаемой задачи, так как получаемые значения функции отображения не совпадают с заявленными выше. Предлагается способ оценки функции отображения, с использованием видеокамеры, оснащенной испытуемым объективом. Предлагаемый способ включает в себя последовательность следующих шагов:

1) В качестве тестового объекта необходимо использовать плоский равномерно окрашенный в контрастный оттенок круг с определенным диаметром *D*;

2) Для используемой видеокамеры нужно выполнить регулировку положения таким образом, чтобы расстояние от неё до тестового объекта было максимальным (L_{max}). Также необходимо выровнять поперечное положение видеокамеры так, чтобы её оптическая ось и плоскость тестового объекта были перпендикулярны друг другу, а также чтобы их оптические центры совпадали;

3) Перемещение видеокамеры по направлению к тестовому объекту нужно осуществлять фрагментарно или дискретно с заранее заданным шагом *dL*. Положение камеры при каждом дискретном шаге можно определить как:

$$L_i = L_{\max} - dL(i-1),$$

где $i = \overline{1, L_{\max} / dl}$ – номер шага перемещения камеры – которое нужно использовать для определения угла наблюдения края тестового объекта θ_i:

$$\theta_i = arctg\left(0{,}5D \Big/ L_i\right) = arctg\left(0{,}5D \Big/ L_{\max} - dl(i-1)\right) \qquad (1)$$

– Также необходимо учитывать рассчитываемый размер изображения тестового объекта, отображаемый на матрице используемой видеокамеры $(y'_1 - y'_2)_i$.

Предлагаемый способ позволяет вычислить дискретную форму зависимость угла наблюдения видеокамеры до тестового объекта с определенными размерами $\theta_i = \varphi_1(D,L_i)$. А также дискретную форму зависимости размера наблюдаемого изображения от угла наблюдения $(y'_1 - y'_2)_i = \varphi_2(f,\theta_i)$.

Поскольку изображение тест-объекта симметрично относительно оптической оси, то искомая функция отображения определится как

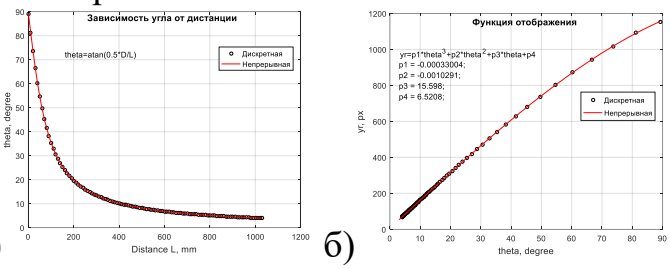
$$y'_{ri} = 0{,}5(y'_1 - y'_2)_i = 0{,}5\varphi_2(f,\theta_i). \quad (2)$$

Существующие методы интерполяции позволяют перейти от дискретных форм (1) и (2) к непрерывным:

$$\theta = \varphi_1(D,L) = arctg\left(0{,}5D/L\right); \quad (3)$$

$$y'_r = 0{,}5\varphi_2(f,\theta) = p_1\theta^3 + p_2\theta^2 + p_3\theta + p_4. \quad (4)$$

Графики функций (1)…(4), полученных в соответствии с описанным выше алгоритмом, показаны на рис. 2.



а) б)

Рис.2. Графики дискретных и интерполированных зависимостей:
а) – угла наблюдения от дистанции; б) – функции отображения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A Flexible Architecture for Fisheye Correction in Automotive Rear-View Cameras. Altera Corporation [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.intel.com / content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/wp/wp-01073-flexible-architecture-fisheye-correction-automotive-rear-viewcameras.pdf

2. Куляс, О.Л. Мониторинг продольного положения видеокамеры при телевизионном контроле внутренней поверхности труб // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2024, №1. – С. 10-18.

METHOD FOR ESTIMATION OF THE MAPPING FUNCTION OF ULTRA-WIDE-ANGLE LENSES FOR VIDEO CAMERAS

Kulyas O.L., Loshkarev A. S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

A simple algorithm for measuring the mapping function for fisheye optics of video cameras is considered.

УДК 681.586.5

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ БИЕНИЙ СПЕКТРОВ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Гаврилова П.А., Кузнецов А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Волоконно-оптические брэгговские решетки (ВБР) являются широко распространенным инструментом в сенсорных системах, используя зависимость брэгговской длины волны от внешних параметров, таких как температура. Однако традиционные методы измерения, основанные на детектировании абсолютного спектрального сдвига, часто сталкиваются с ограничениями по скорости опроса и чувствительностью к шумам. В данной работе предлагается концепция высокоскоростного и помехозащищенного дифференциального датчика температуры, в которой измеряемым параметром является не абсолютное значение длины волны, а относительный сдвиг между двумя ВБР, преобразуемый в частоту биений.

Основу предлагаемого датчика составляют две волоконные брэгговские решетки, интегрированные в единую систему. Ключевой особенностью является использование ВБР с преднамеренно различными термо-оптическими характеристиками: экспериментально измеренные значения теплового сдвига составили 9,62 пм/°С и 8,03 пм/°С для каждой решетки соответственно. При изменении температуры происходит дифференциальный сдвиг их брэгговских длин волн относительно друг друга [1]. Возникающий в результате интерференции сигнал имеет биения, частота которых однозначно связана с величиной температурного воздействия. Это позволяет преобразовывать сигнал с анализатора частоты биений непосредственно в значение температуры, минуя стадию трудоемкого спектрального анализа.

Таким образом, разработанная концепция дифференциального волоконно-оптического датчика, основанного на преобразовании "температура – частота биений", открывает перспективы для создания прецизионных высокоскоростных систем мониторинга.

Перейдем к обоснованию преимуществ предложенного дифференциального подхода на основе частоты биений. Был проведен сравнительный анализ методов опроса ВБР (Табл. 1). Как показывает анализ, спектральные методы, несмотря на простоту, ограничены низкой частотой опроса и высоким уровнем шумов. Интерферометрические и адресные методы, обеспечивая высокую скорость, отличаются значительной сложностью реализации. Предлагаемый дифференциальный подход демонстрирует наилучший баланс характеристик: он сохраняет высокую частоту опроса, обеспечивает низкие шумы за счет компенсации общей составляющей помех в дифференциальной схеме и отличается относительно простой схемой детектирования.

Таблица 1

Анализ методов опроса

Параметр/ Метод	Спек-тральные методы	Частота в амплиту-ду	Интерферо-метрические	Адрес-ные	Дифферен-циальный
Макси-мальная частота опроса	~1 кГц	~1 МГц	~1 МГц	~1 МГц	~1 МГц
Собствен-ные шумы фотопри-емника	Высокие	Высокие	Низкие	Низкие	Низкие
Слож-ность метода	Простая	Простая	Сложная	Сложная	Простая

Данный метод позволяет преодолеть ключевые ограничения традиционных спектральных подходов, предлагая эффективное решение для задач, требующих высокой скорости измерений и устойчивости к помехам.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/ и программы ПРИОРИТЕТ 2030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rysman, J.-F., Nikogosyan, D.N. Thermal sensitivity studies of fibre Bragg gratings inscribed by high-intensity femtosecond UV laser pulses // Optics Communications, – 2009, – Vol. 282(6), – P. 1120-1122.

DIFFERENTIAL FIBER-OPTIC SENSOR BASED ON THE BEAT SPECTRA OF FIBER BRAGG GRATINGS

Gavrilova P.A., Kuznetsov A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Fiber Bragg gratings (FBGs) are a widely used sensor system, exploiting the dependence of the Bragg wavelength on external parameters such as temperature. However, traditional measurement methods based on detecting absolute spectral shifts often face limitations in sampling speed and sensitivity to noise. This paper proposes a concept for a high-speed, noise-immune differential temperature sensor in which the measured parameter is not the absolute wavelength, but the relative shift between two FBGs, converted into a beat frequency.

УДК 681.586.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Гаврилова П.А., Кузнецов А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В работе представлена компьютерная модель универсального волоконно-оптического чувствительного элемента дифференциального типа, разработанная в среде OptiSystem. Модель реализует принцип измерения температуры на основе анализа биений сигналов от двух волоконно-брэгговских решеток (ВБР) с различными термо-оптическими коэффициентами.

Ключевая идея заключается в переходе от измерения абсолютного спектрального сдвига к анализу относительного сдвига между двумя ВБР, который преобразуется в удобный для измерения частотный сигнал биений.

Современное проектирование волоконно-оптических систем, включая сенсорные, активно использует инструменты компьютерного моделирования. Программный комплекс OptiSystem является профессиональным решением для проектирования и анализа фотонных устройств, позволяя проводить виртуальные испытания сложных систем.

Данная работа демонстрирует применение OptiSystem для создания и исследования модели дифференциального волоконно-оптического датчика температуры, что значительно сокращает время и стоимость разработки по сравнению с дорогостоящими физическими экспериментами.

Таким образом, моделирование выполнялось для температурного диапазона от 20 до 100 °C с шагом в 9 итераций. Схема модели включает дополнительные анализаторы спектров для контроля корректности работы и фильтры, параметры которых были оптимизированы для подавления постоянной составляющей и паразитных биений в спектре (Рис.1).

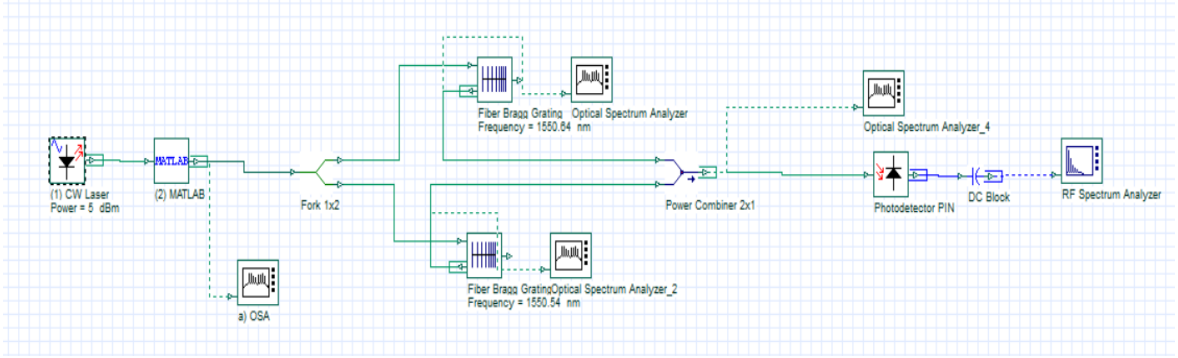


Рис. 1. Компьютерная модель

Использовались волоконно-брэгговские решетки (ВБР) длиной 10 мм. Анализ полученных данных показал, что с ростом температуры частота биений закономерно уменьшается. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Анализ частоты биений

Температура (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Частота биений (ГГц)	127,9	126,3	124,95	123,5	121,9	119,9	117,9	116,5	115,1

Аппроксимация данных подтвердила наличие линейной зависимости между температурой и частотой биений. Коэффициент изменения частоты составил $\Delta f/\Delta T$ = -0.16 ГГц/°C. На основе разности тепловых сдвигов брэгговских длин волн для волокон SMF-28 (9.62 пм/°C) и PS-1250 (8.03 пм/°C), которая составляет $\Delta\lambda/\Delta T$ = 1.59 пм/°C, был рассчитан ключевой параметр преобразования [1]. Он равен 9.94 пм/ГГц, что эквивалентно изменению температуры на ~6.25 °C при сдвиге частоты биений на 1 ГГц.

Проведенное исследование подтверждает, что среда OptiSystem является мощным инструментом для моделирования волоконно-оптических датчиков дифференциального типа. Разработанная модель адекватно воспроизводит физический принцип работы датчика, основанный на преобразовании температурного воздействия в изменение частоты биений. Основным преимуществом подхода является возможность детальной визуализации и анализа работы системы на всех этапах, что открывает широкие возможности для оптимизации параметров датчика перед его практической реализацией.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/ и программы ПРИОРИТЕТ 2030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rysman, J.-F., Nikogosyan, D.N. Thermal sensitivity studies of fibre Bragg gratings inscribed by high-intensity femtosecond UV laser pulses // Optics Communications, – 2009, – Vol. 282(6), – P. 1120-1122.

COMPUTER SIMULATION OF A DIFFERENTIAL FIBER OPTIC TEMPERATURE SENSOR

Gavrilova P.A., Kuznetsov A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents a computer model of a universal differential fiber-optic sensing element, developed in the OptiSystem environment. The model implements the principle of temperature measurement based on the analysis of signal beats from two fiber Bragg gratings (FBGs) with different thermo-optical coefficients.

УДК 681.586.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕРМООПТИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Гаврилова П.А., Кузнецов А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В работе представлены результаты экспериментального исследования волоконно-брэгговских решеток (ВБР), изготовленных на основе волокон SMF-28 и PS-1250 с различными термооптическими коэффициентами. Эксперимент проводился в температурном диапазоне 10-60°C с использованием жидкостного термостата и многоканальной системы опроса. Полученные данные подтвердили линейную зависимость брэгговской длины волны от температуры для обоих типов волокон с коэффициентами 9,86 пм/°C для SMF-28 и 8,588 пм/°C для PS-1250. На основе экспериментальных данных продемонстрирована работоспособность дифференциального метода измерения с чувствительностью 0,159 ГГц/°C.

Разработка прецизионных волоконно-оптических датчиков температуры требует экспериментального подтверждения теоретических моделей. В данной работе проводится практическое исследование характеристик ВБР, которые предполагается использовать в дифференциальном датчике температуры. Целью работы является экспериментальное определение термооптических коэффициентов волокон и верификация предложенного метода измерения на основе анализа частоты биений.

Опишем методику. Экспериментальная установка включала жидкостный термостат КРИО-Т-02 с теплоносителем ПМС-10 и многоканальную систему опроса ВБР. Исследовались две решетки, записанные на волокнах SMF-28 и PS-1250. Процедура измерений предусматривала стабилизацию температуры в шести точках с последующей регистрацией спектральных характеристик. Для каждой температуры проводилось по 20 измерений с последующим усреднением данных.

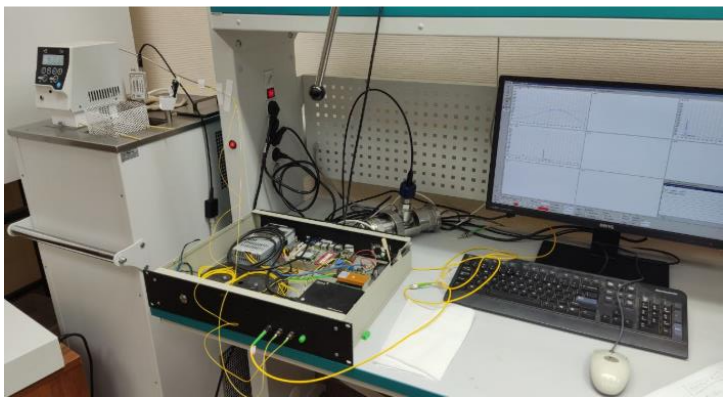


Рис. 1. Фотография рабочего пространства испытания

Обработка экспериментальных данных показала линейный характер зависимости длины волны Брэгга от температуры для обоих типов волокон. Угловые коэффициенты аппроксимирующих прямых составили для SMF-28 9,86 пм/°С и для PS-1250 8,588 пм/°С. Результаты хорошо согласуются с данными из статьи [1].

Исходя из рассчитанных данных строим зависимость частоты биения от температуры. Данная зависимость приведена на рис. 2.

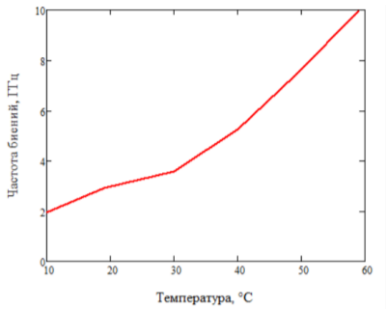


Рис. 2. Полученная зависимость частоты биения от изменения температуры

Анализируя полученный график, данные все также демонстрируют линейную связь между температурой и частотой биений. При увеличении температуры на 1°С частота биений увеличивается на 0.159 ГГц. Это значение подтверждается коэффициентом крутизны графика.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/ и программы ПРИОРИТЕТ 2030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rysman, J.-F., Nikogosyan, D.N. Thermal sensitivity studies of fibre Bragg gratings inscribed by high-intensity femtosecond UV laser pulses // Optics Communications, – 2009, – Vol. 282(6), – P. 1120-1122.

EXPERIMENTAL STUDY OF FIBER BRAGG GRATINGS WITH DIFFERENT THERMOPTICAL COEFFICIENTS FOR A DIFFERENTIAL TEMPERATURE SENSOR

Gavrilova P.A., Kuznetsov A.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents the results of an experimental study of fiber Bragg gratings (FBGs) fabricated from SMF-28 and PS-1250 fibers with different thermo-optical coefficients. The experiment was conducted in the temperature range of 10–60°C using a liquid thermostat and a multichannel interrogation system. The obtained data confirmed the linear dependence of the Bragg wavelength on temperature for both fiber types, with coefficients of 9.86 pm/°C for SMF-28 and 8.588 pm/°C for PS-1250. Based on the experimental data, the performance of the differential measurement method with a sensitivity of 0.159 GHz/°C is demonstrated.

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ПОНИЖЕННОЙ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ

Попов Б. В., Попов В. Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В последние годы в связи с неуклонным ростом цен на кабельные материалы становится особенно актуальным снижение материалоемкости кабелей связи [1].

В этой связи проведены исследование и разработка рекомендаций по снижению материалоемкости телефонных кабелей связи. В ходе выполненных работ были проведены исследование экранирующих характеристик, существующих продольных алюминиевых экранов кабелей связи, оценка их эффективности экранирования, определение влияния экранов на электрические параметры цепей и электромагнитные влияния между ними и разработка рекомендаций по возможности исключения данных экранов из конструкции исследуемых кабелей или замены их на другие типы экранов. Также проведена разработка технических условий на кабель и рекомендаций по возможному использованию кабелей без продольных алюминиевых экранов.

Комплекс работ по снижению материалоемкости кабелей связи включает:

- разработка рабочей конструкторской и технологической документации на кабель без экрана;
- разработка методик измерений, подготовка и комплектация измерительных приборов, подготовка исходных данных;
- измерение электрических характеристик передачи и влияния в строительных длинах в спектре частот цифровых систем передачи, подготовка базы данных для автоматизированной обработки результатов измерений;
- разработка методики испытания кабеля на влагостойкость;
- статистическая обработка результатов измерений электрических характеристик в строительных длинах и сопоставление их с требованиями нормативной технической документации;
- измерение электрических характеристик кабеля на регенерационных участках цифровых систем передачи;
- проведение ускоренных испытаний физико-механических характеристик кабеля, анализ результатов измерений и разработка рекомендаций по корректировке технологии изготовления кабеля с целью улучшения его эксплуатационных характеристик;
- разработка рекомендаций по снижению материалоемкости кабеля и увеличению его эксплуатационной надежности, разработка программы работ по дополнительным испытаниям кабеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Светиков Ю. Современные тенденции развития кабельного производства // Компоненты и Технологии. 2007. №73. с. 137-142.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF REDUCED MATERIAL INTENSITY COMMUNICATION CABLES

Popov B. V., Popov V. B.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This project aimed to reduce the material cost of telephone cables by evaluating the need for aluminum shielding. The research involved testing the existing shield's effectiveness, analyzing its impact on electrical performance, and determining if it could be removed or replaced. The outcome includes technical specifications for a new unshielded cable, along with design and testing methods to ensure its reliability and performance.

УДК 621.383

СИСТЕМА СТРУКТУРНОГО МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ БПЛА НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ РАДИОФОТОННЫХ СЕНСОРОВ

Муравьёв И.Ю., Петров Н.А., Морозов О.Г.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно задействованы для решения широкого спектра задач в гражданской и военной сферах. Тем не менее, совокупное воздействие внутренних конструкционных особенностей и внешних условий способно не только снизить эффективность выполнения миссии БПЛА, но в ряде случаев и сделать его применение невозможным.

Классическим решением для повышения отказоустойчивости и безопасности объектов авиации, наземной инфраструктуры, а также предприятий энергетического и транспортного комплексов служат системы структурного мониторинга работоспособности (СМР). Разработка и внедрение концепций СМР для БПЛА ведутся уже долгие годы, о чём свидетельствуют такие известные подходы, как применение пьезоэлектрических сенсоров, метод электромагнитных волн и их гибридные комбинации [1-2].

В числе наиболее перспективных и технологически зрелых решений для СМР на первый план выходят мультиплексированные волоконно-оптические датчики [3]. Их ключевые преимущества – невосприимчивость к электромагнитным помехам и коррозии. Благодаря минимальному диаметру оптическое волокно может быть интегрировано непосредственно в крупные элементы конструкции БПЛА, такие как крылья или фюзеляж. Данные, считанные с сенсоров в процессе интеррогации, оцифровываются и транслируются через приёмо-передающий комплекс на наземный пункт управления для последующего анализа и оценки надёжности функционирования БПЛА (рис. 1).

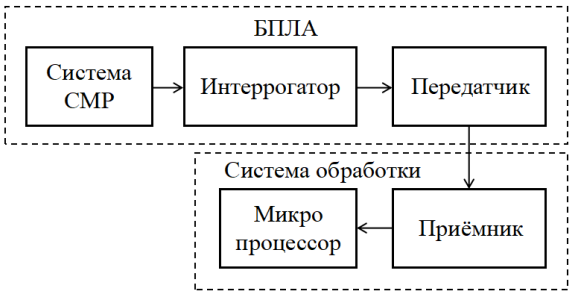


Рис. 1. Блок-схема системы СМР

За основу разрабатываемой системы СМР был взят метод двух волокон [4]. Его суть заключается в использовании двух волокон с записанными в них брэгговскими решётками (ВБР), которые позволяют одновременно измерять деформацию и температуру материала, в который они, в который они встроены. Принцип работы метода основан на двух предположениях: первое – волокна

должны обладать кардинально различной чувствительностью к температуре и/или деформации; второе – отклик обеих ВБР на температуру и деформацию может быть описан суммой независимых функций.

Далее предлагается переход к комбинированному радиофотонному подходу. В его рамках традиционные ВБР в методе двух волокон заменяются на адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС) параллельной конфигурации [5], а оптико-электронные интеррогаторы уступают место радиофотонным. Для обработки результирующих радиочастотных сигналов, которые несут информацию о сдвиге брэгговских длин волн, применяется либо модель измерения коэффициента модуляции, либо быстрое преобразование Фурье всех спектральных компонент биений, возникающих между элементами АВБС. Извлечение информации о частоте биений в первой методике может осуществляться с помощью микроволновых фильтров, тогда как во второй – программными средствами непосредственно на наземной станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Koszewnik, B. Ambrożkiewicz, D. Ołdziej [и др.] Structure analysis in an octocopter using piezoelectric sensors and machine learning // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. P. 31776.

2. M. Mälzer, J. Simon, C. Günner [и др.] Structural Health Monitoring of Aerial Vehicles Using Guided Electromagnetic Waves in K-Band: Initial Damage Detection Results from Drone Flight Testing // Applied Science. 2025. Vol. 15, Iss. 12. P. 6478.

3. Alvarez-Montoya, A. Carvajal-Castrillón, J. Sierra-Perez In-flight and wireless damage detection in a UAV composite wing using fiber optic sensors and strain field pattern recognition // Mechanical Systems and Signal Processing. 2020. Vol. 136. P. 106526.

4. В. И. Артемьев, О. Г. Морозов, А. Ж. Сахабутдинов [и др.] Модернизация метода двух волокон для одновременного измерения температуры и деформаций на основе применения радиофотонных технологий // Радиофизика, фотоника и исследование свойств вещества : тезисы докладов III Российской научной конференции, Омск. 2024. С. 255–257.

5. В. И. Артемьев. Патент РФ № 2841047, МПК G02B 6/34, G01D 5/35316, опубл. 02.06.2025.

STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM FOR UAV BASED ON ADDRESS MICROWAVE SENSORS

Muravev I.Yu., Petrov N.A., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper proposes a structural health monitoring system for UAV based on address fiber Bragg structures. The system uses a microwave approach for interrogation of the sensors and then processes the data to monitor the UAV's integrity by detecting shifts in the Bragg wavelengths..

УДК 621.383

АДРЕСНАЯ ВОЛОКОННАЯ БРЭГГОВСКАЯ СТРУКТУРА НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Муравьёв И.Ю., Петров Н.А., Морозов О.Г.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Существуют как минимум два подхода к формированию адресных волоконных брэгговских структур (АВБС). Первый из них использует конструкцию из двух последовательных сверхузкополосных ВБР, смещённых по длине волны и записанных в одно волокно (2λ-ВБР) [1]. Второй же метод основан на ВБР с двумя симметричными π-сдвигами (2π-ВБР), где три последовательные решётки с фазовыми сдвигами между ними формируют в спектре пропускания два симметричных окна прозрачности [2]. Хотя оба решения и дают искомый двухчастотный отклик, их объединяет существенный минус — увеличение общей длины структуры.

Новая конфигурация АВБС обеспечивает получение каждой частотной составляющей двухчастотного сигнала с использованием ВБР с разными центральными длинами волн $\lambda_{Б1}$ и $\lambda_{Б2}$, записанными в отдельные оптические волокна. Эти волокна расположены параллельно друг другу и соединены между собой через оптический соединитель перед участками записи ВБР. Каждая ВБР имеет одинаковую длину L, что позволяет АВБС функционировать как компактный точечный датчик. При воздействии широкополосным лазерным излучением на АВБС отражённый оптический сигнал представляет собой два сверхузких частотных пика на соответствующих длинах волн ВБР $\lambda_{Б1}$ и $\lambda_{Б2}$.

Для экспериментальной оценки работы предложенной структуры, АВБС была сформирована с использованием двух ВБР с центральными длинами волн 1514,02 нм и 1516,3377 нм, записанными в два волокна SMF-28 (рис. 1, а). В исходном состоянии АВБС демонстрировала два чётких пика отражения, разделённых на 2,3177 нм (рис. 1, б), что соответствует адресной частоте в 302,866 ГГц.

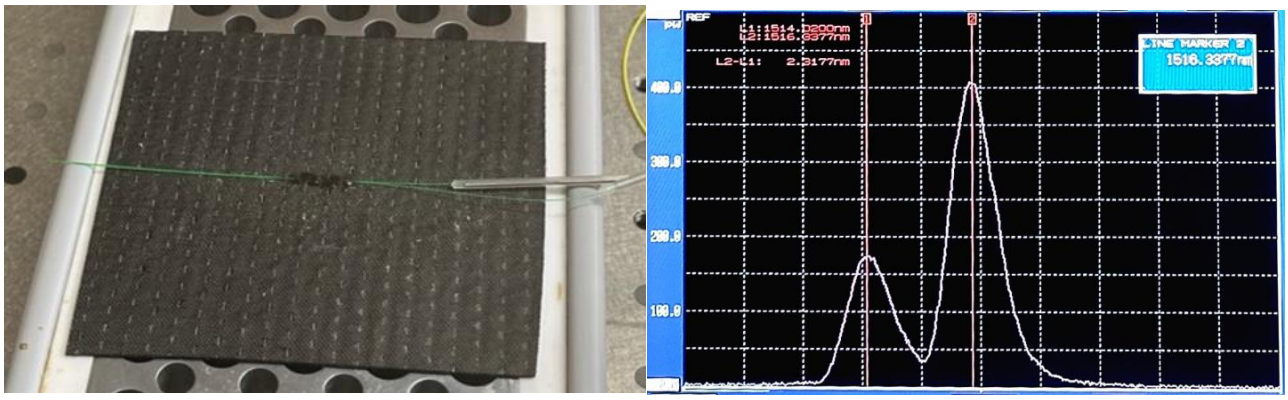


Рис. 1. Экспериментальная проверка АВБС: а – АВБС, приклеенная к полимерному композиту; б – спектр АВБС в исходном состоянии

Для выявления температурного влияния полимерный композит с приклеенной АВБС был помещён на термостат Termit. Для первого измерения температура была повышена от комнатной до 50 °C и поддерживалась в течение 5 минут для обеспечения равномерного распределения тепла по композиту и АВБС. В результате был получен пропорциональный сдвиг центральных длин волн обеих ВБР из-за теплового расширения при сохранении разницы между пиками. Второе измерение при 80 °C подтвердило это поведение: центральные длины волн обеих ВБР сместились одинаково, сохранив адресную частоту 302,866 ГГц. Эта инвариантность демонстрирует устойчивость адресной частоты АВБС к изменениям температуры.

Для исследования влияния механической нагрузки деформация была приложена перпендикулярно АВБС с использованием трёхточечной изгибающей установки с постепенным увеличением нагрузки 50, 100 и 250 микродеформаций (мкε). При 50 мкε центральная длина волны $ВБР_1$ сместилась, в то время как $ВБР_2$ осталась невосприимчивой, что привело к уменьшению разнице между пиками, а следовательно, и изменению адресной частоты до 297,199 ГГц. При более высоких деформациях 100 и 250 мкε $ВБР_2$ начала проявлять чувствительность, однако разница между пиками продолжала снижаться, изменяя адресную частоту (280,185 ГГц при 100 мкε, 274,504 ГГц при 250 мкε). Это может быть вызвано двумя основными причинами: 1) неидеальное выравнивание при склеивании – неравномерное распределение смолы в процессе нанесения, вероятно, привело к разной предварительной деформации ВБР. 2) неравномерное распределение механической нагрузки – трёхточечная изгибающая установка оказывала неоднородную деформацию на параллельные ВБР, что усугубляло изменение разницы между пиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры на основе двух идентичных сверхузкополосных решёток // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3. С. 1-16.

2. Рус.Ш. Мисбахов, Рин.Ш. Мисбахов, О.Г. Морозов [и др.] Волоконные брэгговские решётки с двумя фазовыми сдвигами как чувствительный элемент и инструмент мультиплексирования сенсорных сетей // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3. С. 1-13.

ADDRESS FIBER BRAGG STRUCTURE ON PARALLEL OPTICAL FIBERS

Muravev I.Yu., Petrov N.A., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This work presents a new configuration for an address fiber Bragg structure using two fiber Bragg gratings with different central wavelengths inscribed in parallel optical fibers and its experimental thermal and strain evaluation.

УДК 621.383

ДАТЧИКИ СОЛЁНОСТИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ФАБРИ-ПЕРО

Петров Н.А., Муравьёв И.Ю., Морозов О.Г.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В данной работе представлен обзор волоконно-оптических методов измерения солёности воды на основе интерферометров Фабри-Перо (ФП).

Первый датчик содержит композитную полость ФП, состоящую из воздушной полости длиной $L_{п}$, за которой следует полость из кварца длиной $L_{кв}$ (Рис. 1) [1]. Конструкция была реализована методом фрезерования сфокусированным ионным пучком для формирования воздушного зазора в торце одномодового волокна. Повышение солесодержания в воде приводит к сдвигу интерференционного спектра, вызванного зависимостью эффективного показателя преломления в открытой полости от рефрактометрических свойств анализируемой воды.

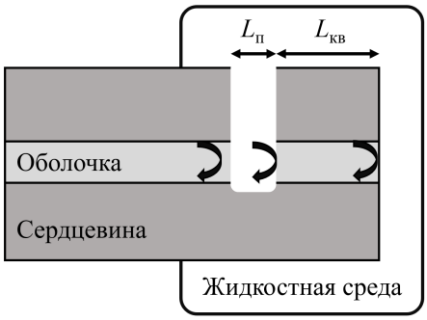


Рис. 1. Структурная схема композитного интерферометра Фабри-Перо

Второй датчик представляет собой открытую полость ФП, созданную с применением фемтосекундного лазерного излучения, что обеспечивает прямой доступ жидкости (Рис. 2) [2]. Принцип действия этого датчика аналогичен описанному выше для первого датчика.

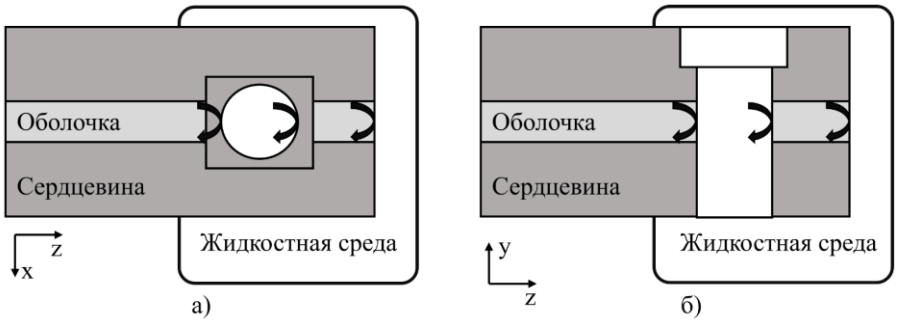


Рис. 2. Структурная схема сквозной полости Фабри-Перо: а) вид сверху б) вид справа

Третий датчик ФП реализован по технологии катастрофического плавления (Рис. 3) [3, 4]. Эта технология включает в себя два этапа: сначала в

оптическом волокне формируется квазипериодическая структура микрорезонаторов, которая затем участок с ними скалывается и спаивается с неповреждённым одномодовым волокном. Затем кварцевое стекло подвергается термообработке в дуговом разряде, что приводит к слиянию микрорезонаторов в единую макрополость, чьи геометрические параметры контролируются режимами обработки [5]. Для доступа жидкости в макрополость фемтосекундным лазером создаётся канал. Солёность определяется путем рефрактометрического измерения показателя преломления водной среды, заполняющей полость.

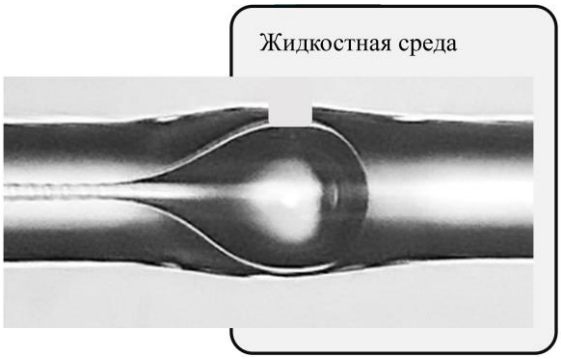


Рис. 3. Структурная схема открытой полости Фабри-Перо, сформированной путем катастрофического плавления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L.V. Nguyen, M. Vasiliev, K. Alameh. Water salinity fiber sensor with selectable sensitivity using a liquid-fillable composite in-fiber Fabry-Perot cavity // 7th International Symposium on High-capacity Optical Networks and Enabling Technologies, Cairo, Egypt. 2010. P. 161-165.

2. C. Li, C. Fan, H. Wu [et al.] Fiber Optic Micro-Hole Salinity Sensor Based on Femtosecond Laser Processing // Nanomaterials. 2025. Vol. 15, no. 60. P. 1-13.

3. P.F.C. Antunes, M. F. F. Domingues, N. J. Alberto [et al.] Optical Fiber Microcavity Strain Sensors Produced by the Catastrophic Fuse Effect // IEEE Photonics Technology Letters. 2014. Vol. 26, no. 1. P. 78-81.

4. O.G. Morozov, T.A. Agliullin, A.Zh. Sakhabutdinov [et al.] Fiber-Optic Hydraulic Sensor Based on an End-Face Fabry–Perot Interferometer with an Open Cavity // Photonics. 2024. Vol. 11, no. 22. P. 1-16.

WATER SALINITY SENSORS BASED ON FIBER-OPTIC FABRY-PEROT INTERFEROMETERS

Petrov N.A., Muravev I.Yu., Morozov O.G.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper reviews fiber-optic water salinity sensing methods based on Fabry-Perot (FP) interferometers.

УДК 621.383

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО КАК ДАТЧИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ

Петров Н.А., Муравьёв И.Ю., Морозов О.Г.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В этой работе мы рассмотрим внешние волоконно-оптические интерферометры Фабри–Перо (ИФП) для измерения глубины водной среды путем определения давления. На метрологические характеристики датчиков влияет множество факторов, среди которых наиболее значимыми являются параметры мембраны. Кварцевое стекло представляет интерес в качестве мембранного материала благодаря своей химической стойкости и коэффициенту теплового расширения, которые аналогичны параметрам оптического волокна [1]. Однако изготовление ультратонких мембран сопряжено с технологическими трудностями, что ограничивает чувствительность датчиков. Для изготовления мембран ИФП также используются различные полимерные материалы, такие как полиуретан и полистирол [2]. Общим недостатком полимерных материалов является необходимость их предварительной стабилизации.

Был предложен альтернативный подход, основанный на эффекте катастрофического плавления одномодового волокна мощным источником [3]. В результате этого эффекта в сердцевине волокна образуются множественные периодические пустоты с периодом в несколько микрометров. Для получения резонатора такое волокно расщепляется и сращивается с неповрежденным одномодовым волокном, в результате чего в месте соединения образуется каплеобразная полость длиной около ста микрон, формирующая ИФП. Такая полость, сужающаяся к концу, может служить датчиком давления без диафрагмы. Ранее был разработан волоконно-оптический датчик акустических волн на основе торцевого ИФП с открытым резонатором [4].

Кроме того, при проектировании и эксплуатации датчиков давления на основе ИФП необходимо учитывать их перекрестную чувствительность к температуре, возникающую из-за теплового расширения компонентов ИФП. Для учета температурного дрейфа ранее было предложено использовать волоконную брэгговскую решетку (ВБР), расположенную вблизи ИФП, в качестве датчика температуры [5]. Позднее был предложен метод с использованием адресных волоконных брэгговских структур (АВБС) [6], которые включают в себя две узкополосные ВБР-компоненты. Частотный интервал между ними находится в радиочастотном диапазоне, что позволяет использовать фотодетекторы (ФД) вместо громоздких оптических спектральных анализаторов.

Учитывая все вышесказанное, предлагается волоконно-оптическая сенсорная система для определения глубины, состоящая из широкополосного лазерного диода (СЛД), циркулятора, АВБС, ИФП, ФД, блока аналого-цифрового преобразования (АЦП) и блока цифровой обработки (Рис. 1). Широкополосное лазерное излучение через циркулятор попадает в

измерительный зонд, состоящий из АВБС и ИФП, который находится в жидкостной среде. Результирующий оптический сигнал преобразуется в аналоговый электрический сигнал в ФД, после чего преобразуется в цифровой в АЦП. Итоговый сигнал обрабатывается в блоке цифровой обработки.

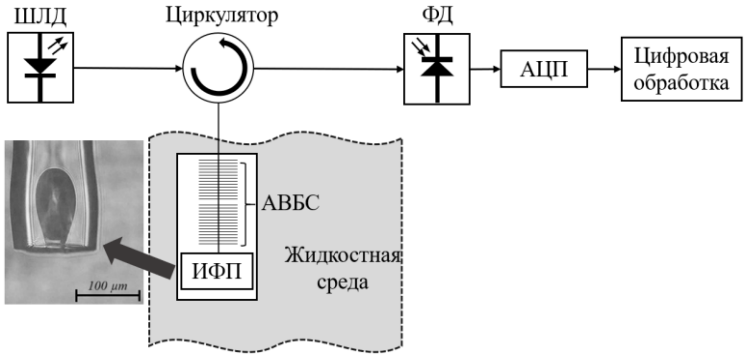


Рис. 1. Структурная схема предложенной системы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D.B. Duraibabu, S. Poeggel, E. Omerdic [et al.] An Optical Fibre Depth (Pressure) Sensor for Remote Operated Vehicles in Underwater Applications // Sensors. 2017. Vol. 17, no. 406. P. 1-12.

2. E. Cibula, D. Đonlagi´c. Miniature Fiber-Optic Pressure Sensor with a Polymer Diaphragm // Applied Optics. 2005. Vol. 441. P. 2736-2744.

3. M.F. Domingues, T. Paixão, E. Mesquita [et al.] Hydrostatic Pressure Sensor Based on Micro-Cavities Developed by the Catastrophic Fuse Effect // SPIE. 2015. Vol. 9634. P. 737–740.

4. O.G. Morozov, T.A. Agliullin, A.Zh. Sakhabutdinov [et al.] Fiber-Optic Hydraulic Sensor Based on an End-Face Fabry–Perot Interferometer with an Open Cavity // Photonics. 2024. Vol. 11, no. 22. P. 1-16.

5. L.A. Ferreira, A.B. Lobo Ribeiro, J.L. Santos [et al.] Simultaneous Measurement of Displacement and Temperature Using a Low Finesse Cavity and a Fiber Bragg Grating // IEEE Photonics Technol. Lett. 1996. Vol. 8. P. 1519-1521.

6. O.G. Morozov, A.Zh. Sakhabutdinov. Addressed fiber Bragg structures in quasi-distributed microwave-photonic sensor systems // Computer Optics. 2019. Vol. 43, Iss. 4. P. 535-543.

FIBER-OPTIC FABRY-PEROT INTERFEROMETER AS A DEPTH DETECTION SENSOR

Petrov N.A., Muravev I.Yu., Morozov O.G.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper reviews extrinsic fiber-optic Fabry-Perot interferometers for water depth measurement. A novel sensor system is presented, which utilizes an addressed fiber Bragg grating structure for temperature compensation for cross-sensitivity and enables practical signal detection.

УДК 621.383

ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

Грабовецкий Д.С., Морозов О.Г., Шагвалиев Т.Р., Матвеев Д.Н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В последние десятилетия было предложено много волоконно-оптических датчиков на основе интерферометра Фабри-Перо (ИФП) для контроля давления и температуры [1, 2]. Однако перекрёстная чувствительность, вызванная различными физическими параметрами, является неизбежной проблемой, которую необходимо решить в практических приложениях, что является ключом к датчику для одновременного измерения и различения нескольких физических параметров. К распространённым методам решения проблем перекрёстной чувствительности относятся встроенная волоконная брэгговская решётка (ВБР), изменение параметров волокна, температурная компенсация и двухпараметрическое одновременное измерение.

Для повышения чувствительности к температуре и давлению в волоконно-оптические ИФП вводят полимеры. Для измерения температуры полидиметилсилоксан (ПДМС) является превосходным термочувствительным материалом благодаря высокому коэффициенту теплового расширения, равному $9{,}6\times10^{-6}$/°C, и высокому отрицательному термооптическому коэффициенту, равному $4{,}66\times10^{-6}$/°C. Для измерения давления всё большее внимание привлекает прозрачный клей с ультрафиолетовым (УФ) отверждением, благодаря своим уникальным преимуществам: быстрому отверждению с малой потребляемой мощностью, низкой стоимости, устойчивостью к загрязнениям разной природы. В последние годы волоконно-оптические ИФП с различными структурами в сочетании с PDMS и УФ-клеем используются для измерения температуры и давления.

Кроме указанных факторов, эффект Вернье может эффективно повышать чувствительность измерительных приборов и широко применяется во многих областях измерений. В последнее время волоконно-оптические датчики на основе эффекта Вернье, состоящие из двух параллельных или каскадных ИФП с близким диапазоном спектрального разрешения, используются для измерения давления и температуры. Чувствительность ИФП на основе эффекта Вернье может быть усилена путём измерения смещения длины волны огибающей спектра, которое больше, чем интерференционные полосы. Для решения существующих проблем двухпараметрического одновременного измерения, таких как низкая чувствительность, сложность изготовления, перекрёстная чувствительность и высокая стоимость в данной работе предложен высокочувствительный волоконно-оптический датчик Фабри-Перо (ФП) с параллельными полимерно-воздушными полостями, работающий на эффекте Вернье, для одновременного измерения давления и температуры.

Параллельный ИФП представлен на рис. 1.

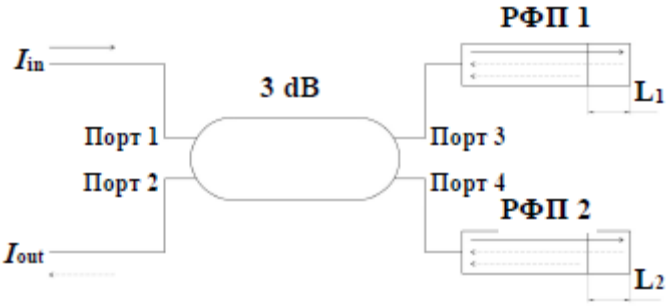


Рис. 1. Параллельный ИФП с двумя резонаторами Фабри-Перо РФП1 и РФП2

Датчик состоит из двух параллельных РФП, изготовленных путём формирования концевых полостей в одномодовом волокне по технологии катастрафического плавления [1]. Один заполнен ПДМС, а другой – тонким слоем УФ-клея. Чувствительные элементы на основе РФП аналогичны, что обеспечивает возникновение эффекта Вернье. Экспериментальные результаты показывают, что РФП1, заполненный ПДМС, чувствителен как к давлению, так и к температуре, тогда как РФП2, заполненный тонким слоем УФ-клея, чувствителен только к давлению. Датчик использовался для одновременного измерения изменения давления воздуха и температуры окружающей среды. В сочетании с эффектом Вернье датчик обеспечивает чувствительность по давлению ~400 пм/МПа и чувствительность по температуре ~ −500 пм/°C соответственно. Предлагаемый датчик потенциально применим в полевых условиях, где требуется измерение давления и температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.М. Шагвалиев, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов [и др.] Постановка задач проектирования волоконно-оптического референсного датчика воздуха для качественного и количественного мониторинга его параметров // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 3 (63). С. 53-66.

2. К.А. Ходжанепесов, А. Ниязгулыева, Д.Н. Матвеев [и др.] Концепция построения комплексированного волоконно-оптического датчика для мониторинга солнечных батарей // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2023. Т. 3, № 2. С. 55-67.

SIMULTANEOUS MONITORING OF TEMPERATURE AND PRESSURE USING A PARALLEL FABRY-PEROT INTERFEROMETER

Grabovetsky D.S., Morozov O.G., Shagvaliev T.R., Matveev D.N.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents a fiber-optic sensor based on a parallel Fabry-Perot interferometer with two polymer-filled cavities for the simultaneous measurement of temperature and pressure utilizing the Vernier effect.

УДК 621.383

АНАЛИЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТЕЙ

Нигматуллин С.Н., Морозов О.Г.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Высокоточное измерение скорости и направления потока в трубопроводах в условиях взрывоопасности, электромагнитных помех (EMI) и агрессивных сред является критической задачей для нефтегазовой и химической промышленности, а также бортовых систем летательных аппаратов [1].

Точечные волоконно-оптические методы контроля скорости потока, включая лазерную допплеровскую велосиметрию (LDV) и анемометры на основе волоконно-брэгговских решёток (ВБР), реализуют локальные измерения через допплеровский сдвиг частоты, вызванные нагревом, что позволяет достигать разрешения 0,012 м/с для прозрачных сред, но ограничивается оптической прозрачностью жидкости и чувствительностью к рассеянию, а также требует регулярной калибровки в агрессивных средах. Тепловые анемометры на волоконно-брэгговских решётках (ВБР) используют джоулев нагрев для регистрации охлаждения потоком, достигая чувствительности 0,091 нм/(м/с) при скоростях до 2,5 м/с и энергопотреблении до 60 мВт/м. Однако они подвержены засорению и требуют температурной компенсации при температурах выше 100 °C. Интерферометрические микроволоконные сенсоры типа Фабри-Перо измеряют скорость 0,1–10 мм/с с разрешением 0,1 мкм, интегрируясь в микрофлюидные устройства, но демонстрируют ограниченную устойчивость к вибрациям.

Распределенные волоконно-оптические методы. Ограничивающим фактором для методов на основе рамановского и бриллюэновского рассеяния является чрезвычайно низкая интенсивность рассеянного света. При более высокой интенсивности рассеяния релеевское рассеяние в ϕ-OTDR больше подходит для длинных участков мониторинга с высокоточными количественными измерениями температуры. Разрешение методов временной области ограничено минимальной длительностью светового импульса (~10 нс), обеспечивая продольное разрешение около одного метра. Этот предел преодолевается в OFDR, где обратно рассеянный свет от волокна объединяется со светом от эталонного плеча, создавая интерференционный сигнал, содержащий информацию о местоположении и величине отраженных явлений по длине волокна. Преобразование Фурье комплексного коэффициента отражения в частотной области позволяет получить коэффициент отражения как функцию длины. Когерентная OFDR достигает субмиллиметрового пространственного разрешения на расстоянии десятков-сотен метров волокна с температурным разрешением <1 °C, что идеально подходит для мониторинга потока на коротких участках трубопровода.

Адресные комбинированные волоконные брэгговские структуры (АКВБС) реализуют квази-распределенный мониторинг через мультиплексирование в пространстве длин волн (WDM), времени (TDM) и частоты (FDMA), обеспечивая опрос до 100 сенсорных точек [2-4]. Принципиальным преимуществом АКВБС является применение радиофотонной адресной интеррогации (РФАИ), которая транслирует спектральное положение брэгговского резонанса в радиочастотную область, обеспечивая иммунитет к электромагнитным помехам и снижая требования к полосе оптического источника. Метод постоянной мощности нагрева позволяет регистрировать изменение разности температур между опорным и нагреваемым датчиками, достигая диапазона измерений 50–1000 мкл/мин с ошибкой <1%. Интеграция адресного комбинированного интерферометра Фабри-Перо (АКИФП) в структуру сенсора повышает точность за счёт одновременной регистрации температуры двумя различными принципами детектирования в одной пространственной точке.

Анализ подтверждает превосходство распределенных и квази-распределенных ВОТ (OFDR/АВБС) для бортовых приложений, обеспечивая метрологическую точность ниже 1% и устойчивость к условиям повышенной взрывоопасности, электромагнитных помех, а также агрессивности используемых сред за счёт импульсного нагрева и мультиплексирования [1, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Jderu, M.A. Soto, M. Enachescu [и др.] Liquid Flow Meter by Fiber-Optic Sensing of Heat Propagation // Sensors. 2021. Vol. 21, № 2, 355.

2. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43, № 4. С. 535-543.

3. Т.А. Аглиуллин и др. Многоадресные волоконные брэгговские структуры в радиофотонных сенсорных системах // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 1. С. 6-13.

4. Рус.Ш. Мисбахов и др. Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 2 (62). С. 77-90.

ANALYSIS OF FIBER-OPTIC METHODS FOR MEASURING THE FLOW RATE OF LIQUIDS

Nigmatullin S.N., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article provides an analysis of fiber-optic methods for measuring liquid flow velocity, comparing point and distributed sensing techniques by using address fiber Bragg structures.

УДК 535.8

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ОДНОФОТОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Прапорщиков Д. Е.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В качестве передатчика в системах квантового распределения ключей используются так называемые фотонные пушки или источники одиночных фотонов, в которых излучается один единственный фотон под действием управляющего сигнала. Причем генерация осуществляется либо по требованию в заданный момент времени, либо по уведомлению оператору момента появления фотона.

Однофотонные источники должны удовлетворять ряду требований. К ним относятся большая чистота однофотонного излучения, высокая неразличимость одиночных фотонов, а также высокая эффективность.

Существуют несколько принципов построения однофотонных источников излучения. Одно из направлений связано с использованием двухуровневой квантовой системы, не способной излучать два фотона в одно и то же время. Здесь можно выделить решения на основе фотонных кристаллов, в том числе во взаимодействии с гиперболическим метаматериалами. Другой подход описывает испускание фотонов одиночными электронами в p-n переходе. Кроме того, также известны разработки на основе квантовых точек в полупроводнике, в котором реализуется эмиссия фотонов за счет пары электрон-дырка.

В докладе рассмотрены основные принципы построения однофотонных источников излучения, указаны их основные достоинства и недостатки, проблемы при реализации, а также приведены некоторые характеристики реализованных на практике решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцев К.Е. Квантовые технологии в телекоммуникационных системах: учебник // Таганрог.: Издательство Южного федерального университета, 2021. 346 с.

2. Введение в оптические и квантовые коммуникации: учеб. пособие // [А.Р. Бестугин и др.]. СПб.: ГУАП, 2024. 140 с.

OVERVIEW OF DESIGN METHODS OF SINGLE PHOTON SOURCES

Praporshchikov D. E.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report introduces the basic principles of single photon source design, indicates their main advantages and limitations, implementation issues and also provides some characteristics of solutions realized into practice.

УДК 681.7.068

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Никулина Т.Г., Дашков М.В.., Евтушенко А.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

На сегодняшний день в России наблюдается изменение рынка телекоммуникационных оптических волокон (ОВ) – появляются новые типы оптических волокон, как китайских производителей, так и российского производства. Для заводов-изготовителей оптического кабеля представляют интерес параметры механической прочности данных оптических волокон. В работе представлены результаты экспериментальных исследований механической прочности на растяжение и изгиб оптических волокон трех различных производителей:

1) волокно А – это оптическое волокно, широко применяемое до недавнего времени в России;

2) волокна Б и В – новые типы оптических волокон, одно из которых – российского производства и одно – китайского.

Исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 60793-1-31-2010 [1] и ГОСТ Р МЭК 60793-1-33-2014 [2]. Определялись: прочность оптических волокон при разрыве [1]. Для волокон Б и В также был определен параметр коррозии под напряжением n при изгибе [2]. Полученные оценки механической прочности оптических волокон А, Б и В, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Оптическое волокно	Медианное значение прочности при разрыве		Текст
	при скорости растяжения 25%/мин	при скорости растяжения 2,5%/мин	Параметр коррозии под напряжением, n
А	5,7	5,1	-
Б	5,8	5,5	26
В	5,8	5,5	27

Как видно из таблицы 1, оптические волокна Б и В по механическим параметрам удовлетворяют требованиям ГОСТ Р МЭК 60793-2-50 [3], а также имеют прочность не меньшую, чем у волокон А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 60793-1-31-2010. Волокна оптические. Часть 1-31. Методы измерений и проведение испытаний. Прочность при разрыве. 2010. 20 с.

2. ГОСТ Р МЭК 60793-1-33-2014. Волокна оптические. Часть 1-33. Методы измерений и проведение испытаний. Стойкость к коррозии в напряженном состоянии. 2014. 36 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60793-2-50-2018. Волокна оптические. Часть 2-50. Технические требования к изделию. Групповые технические требования к одномодовым оптическим волокнам класса B. 2018. 26 с.

RESEARCH OF THE MECHANICAL STRENGTH OF OPTICAL FIBERS FROM DIFFERENT MANUFACTURERS

Nikulina T.G., Dashkov M.V., Evtushenko A.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper presents the results of studies of the mechanical strength parameters of optical fibers from various manufacturers. The results of studies on the tensile strength of optical fibers and the stress-corrosion cracking parameter are presented.

УДК 681.586.5

СХЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРА НА ОСНОВЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА С ЧАСТОТНЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ КОЛЕБАНИЙ

Иванов В.В., Степанов И.В., Воронков Г.С.
(Уфимский университет науки и технологий)

Прецизионная стабилизация частоты лазерного излучения с относительной нестабильностью 10^{-15} и ниже является фундаментальной задачей. Традиционно, для неё применяется метод Паунда-Древера-Холла (ПДХ) [1,2]. Он основан на интерференции фазомодулированного лазерного излучения с отражённым излучением от высокодобротного объемного резонатора Фабри-Перо. Применение этого метода позволяет достичь ширины полосы лазерного излучения на уровне килогерц. Однако системы ПДХ характеризуются значительными габаритами, высокой чувствительностью к механическим вибрациям и температурным флуктуациям [3], а также сложностью интеграции в компактные оптические системы.

Соответственно, целью работы является представление и теоретический анализ новой архитектуры стабилизации частоты лазера на основе оптоэлектронного осциллятора (ОЭО) с возможностью малогабаритной и экономически эффективной реализации [4]. Частота сверхвысокочастотного (СВЧ) сигнала на выходе ОЭО $f_{ОЭО}$ определяется разностью резонансной частоты оптического режекторного фильтра $f_{ОР}$ и частоты излучения лазера $f_{ОЛ}$:

$$f_{ОЭО} = |f_{ОЛ} - f_{ОР}|$$

В предлагаемой архитектуре используется ОЭО с высокодобротным оптическим резонатором (режекторным фильтром) (рис. 1). Ключевой особенностью системы является то, что изменения частоты сигнала на выходе ОЭО, вызванные девиациями частоты лазера, детектируются с помощью расстроенного электрического контура, формирующего сигнал ошибки для прецизионной коррекции частоты лазера.

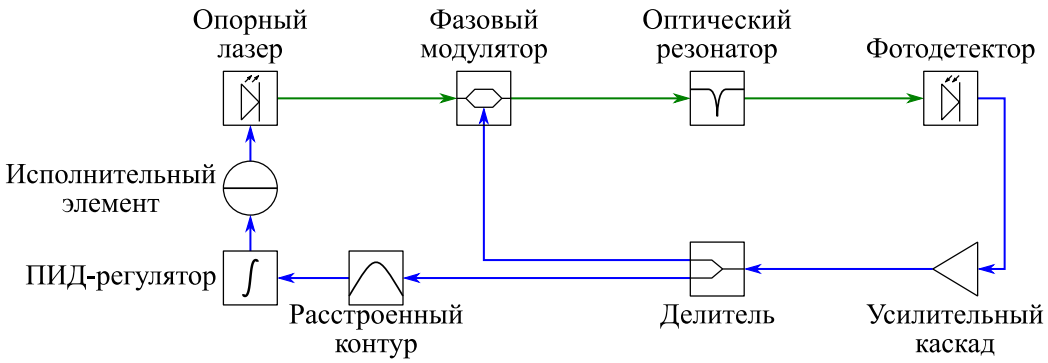


Рис. 1. Схема подстройки частоты лазера на основе ОЭО. Зелёным цветом показаны оптические сигналы, синим – электрические.

Сигнал с выхода ОЭО подается на расстроенный электрический контур с центральной частотой $f_ф$. Расстройка контура выбирается таким образом, чтобы номинальная частота выходного сигнала ОЭО попадала на один из линейных склонов амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра, где крутизна изменения амплитуды по частоте максимальна. Когда $f_{ОЭО}$ изменяется из-за девиации частоты лазера $\Delta f_{ол}$, сигнал ОЭО «скользит» по склону АЧХ фильтра. Это приводит к изменению амплитуды СВЧ-сигнала. Сигнал ошибки V_{err} поступает на вход пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора. Выходной сигнал ПИД-регулятора управляет исполнительным элементом, корректирующим частоту лазера.

Предложенная архитектура потенциально сочетает высокую добротность оптического резонатора для первичного преобразования «изменение частоты лазера → изменение частоты ОЭО» с простотой и гибкостью электрического частотного дискриминатора на основе расстроенного контура. В отличие от классического ПДХ, в предложенной архитектуре не требуется прецизионная интерферометрия – вместо неё используется отслеживание изменения частоты СВЧ-сигнала на выходе ОЭО.

Помимо этого, оптическая часть предложенной архитектуры может быть реализована средствами интегральной оптики, что открывает возможность создания малогабаритных прецизионных устройств стабилизации частоты излучения лазера.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drever R.W.P. и др. Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator // Appl. Phys. B. 1983. Т. 31, № 2. С. 97–105.

2. Liu Z. и др. A digital servo for ultra-stable laser frequency stabilization // Review of Scientific Instruments. 2024. Т. 95, № 12. С. 123002.

3. Aspelmeyer M., Kippenberg T.J., Marquardt F. Cavity optomechanics // Rev. Mod. Phys. 2014. Т. 86, № 4. С. 1391–1452.

4. Maleki L. The optoelectronic oscillator // Nature Photon. 2011. Т. 5, № 12. С. 728–730.

A LASER FREQUENCY STABILIZATION SCHEME BASED ON THE OPTOELECTRONIC OSCILLATOR WITH FREQUENCY DETECTION

Ivanov V.V., Stepanov I.V., Voronkov G.S.
(Ufa University of Science and Technology)

In this article we present a novel scheme for a laser frequency stabilization based on the optoelectronic oscillator circuit with frequency detection.

УДК 621.383

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И РАССТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ТАНДЕМНОЙ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Силаков К.А., Денисенко П.Е.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Ранее представленные радиофотонные радиолокационные системы (РЛС) на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции (ТАФМ) [1, 2] обеспечивали определение только одного параметра движения цели – скорости. Дальнейшее развитие представленных РЛС состоит в расширении их функционала путем увеличения числа измеряемых параметров движения зондируемой цели.

Для одновременного определения скорости зондируемого объекта и расстояния до него требуется использовать более сложные типы локационных сигналов. Для радиофотонных РЛС в данной задаче наиболее простым сигналом для формирования в оптической области, а также обеспечивающим достаточное разрешение измерений как по скорости, так и по дальности является непрерывный линейный частотно-модулированный сигнал (ЛЧМ-сигнал), который к тому же способствует реализации преимуществ радиофотоники в виде возможности генерации и обработки высокочастотных и широкополосных сигналов. Использование симметричного ЛЧМ-сигнала, содержащего последовательные линейные и равные по длительности сегменты возрастания и убывания частоты, помимо значения скорости объекта и расстояния до него, позволяет определить одновременно и направление измеренной радиальной скорости.

Рассмотрим структурную схему (Рис. 1) разработанной радиофотонной РЛС, построенной с использованием блоков ТАФМ и использующей симметричный ЛЧМ-сигнал в качестве зондирующего. Источником оптического сигнала является лазерный диод (блок ЛД), блоки ТАФМ состоят из амплитудных и фазовых модуляторов (блоки АМ и ФМ), на выходе системы установлен фотодетектор (блок ФД).

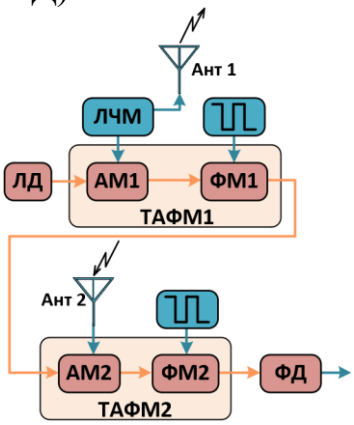


Рис. 1. Структурная схема РЛС на ТАФМ

Блок ТАФМ1 формирует в оптической области эталонные полосы зондирующего сигнала, которые далее используются для устранения частотной модуляции в принятом сигнале. Отраженный от цели сигнал с антенны поступает в блок ТАФМ2, где в результате смешения с эталонными полосами ЛЧМ-сигнала формируются две частоты, называемые информационными, образованные от смешения соответственно сегментов возрастания и убывания частоты двух сигналов. По значению и взаимному расположению информационных частот можно определить скорость и расстояние до цели. Одновременное определение направления радиальной скорости реализуется путем сравнения величин информационных компонент, образованных от смешения возрастающих и убывающих сегментов ЛЧМ-сигнала соответственно.

Предлагаемая радиофотонная РЛС на основе ТАФМ и симметричного ЛЧМ-сигнала расширяет функциональные возможности, а также области применения в сравнении с ранее представленными системами [1, 2], а также имеет ряд преимуществ в сравнении с аналогами, построенными на традиционно применяемых модуляторах Маха-Цендера: возможность полного подавления неинформативной оптической несущей, более высокая чистота оптического спектра сигнала, в том числе и в области гармоник высших порядков [1], а также отсутствие необходимости устанавливать в данной системе дополнительные оптические фильтры для получения требуемого вида оптического спектра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиофотонный метод определения доплеровского изменения частоты отражённого радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции / О. Г. Морозов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2021. № 2(50). С. 63–75.

2. Устройство определения доплеровского изменения частоты отраженного радиолокационного сигнала: патент на полезную модель 226545. Российская Федерация. № 2024109858 / К.А. Силаков (RU), А.А. Лустина (RU), О.Г. Морозов (RU), П.Е. Денисенко (RU), Е.П. Денисенко (RU); заявл. 11.04.2024; опубл. 07.06.2024.

VELOCITY AND DISTANCE DETERMINATION BASED ON TANDEM AMPLITUDE-PHASE MODULATION TECHNOLOGY

Silakov K.A., Denisenko P.E
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The paper discusses a new radiophotonic radar system constructed using tandem amplitude-phase modulation units and a symmetrical linear frequency-modulated signal as a probing signal and capable of simultaneously determining velocity and distance.

УДК 621.383

МОНИТОРИНГ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Казаров В.Ю., Морозов О.Г.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В этом докладе обобщается опыт применения передовых оптоволоконных датчиков в литий-ионных аккумуляторах и технологиях промышленного хранения энергии, которые могут быть массово развернуты. Основное внимание уделяется построению современных оптоволоконных датчиков в процессах одномерного нано-микроуровня структурного фазового перехода материала аккумулятора, деградации электролита, динамики интерфейса электрод-электролит до трехмерной макробезопасности. Работа способствует пониманию того, как использовать оптоволоконные датчики для достижения «реального» и «встроенного» мониторинга. Решение этих задач могут способствовать разработке интеллектуальных аккумуляторов, при этом важное значение имеет по сути содействие улучшению поддержания качества промышленной системы хранения в целом. Более того, с помощью интеллектуальных батарей в будущем важность целостности системы может быть ослаблена или даже устранена. Применение усовершенствованных оптоволоконных датчиков помогает всесторонне улучшить качество, надежность и срок службы как одной интеллектуальной батареи, так и всей системы промышленного хранения в целом.

Цель работы – разработка принципов построения комплексированных волоконно-оптических датчиков и системы на их основе для комплексов хранения энергии.

Опираясь на различные принципы измерения оптоволоконных датчиков, такие как волоконные брэгговские решетки (ВБР), наклонные решетки, затухающие волны, поверхностный плазмонный резонанс, рэлеевское рассеяние и другие эффекты, можно проводить измерения в режиме реального времени на месте ключевых характеристик внутреннего ядра батареи, таких как напряжение-деформация, температура, показатель преломления электролита, рост SEI, окислительно-восстановительный процесс материала электрода и концентрация ионов. Это имеет решающее значение для понимания динамики интерфейса электрода, деградации электролита, затухания емкости батареи и эволюции фазы и структуры материала электрода. SLIB, подготовленные с использованием современных встроенных оптоволоконных датчиков, способствуют прояснению внутренних процессов батареи, тем самым помогая достижению прогресса в технологии батарей. На фоне текущих исследований и разработок SLIB в этой работе обобщается и оценивается технология встроенных датчиков, необходимая на первом этапе (первый этап: разработка технологии многоисточникового зондирования и достижение прозрачности для химической среды батареи).

Технологии и применение усовершенствованных оптоволоконных датчиков для понимания внутренних механизмов батареи показана на рис. 1.

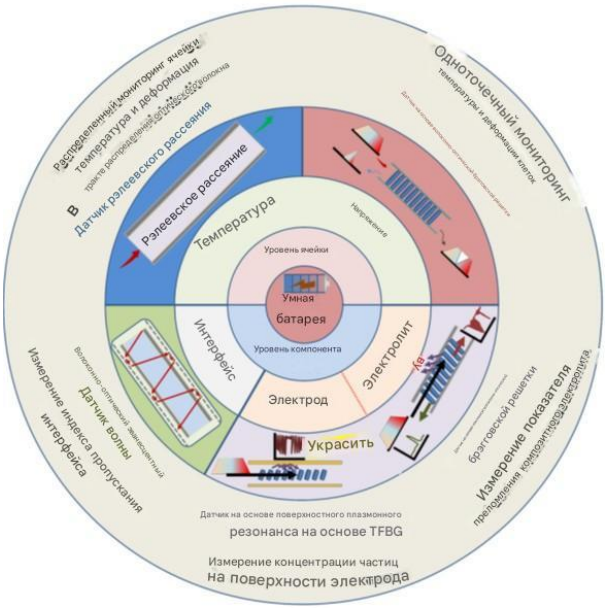


Рис. 1. Технологии ВОД для мониторинга аккумуляторных батарей

Насколько нам известно, большинство текущих обзорных исследований по применению оптоволоконных датчиков в батареях сосредоточены на рабочем механизме датчика, простых процессах мониторинга и результатах мониторинга. Неясно, как оптоволоконные датчики могут контролировать такие ключевые процессы и достигать каких результатов. В связи с этим в данном докладе рассматривается и изучается способность к анализу и будущее развитие квазираспределенных оптоволоконных датчиков, таких как датчик на основе адресной волоконной брэгговской структуры при мониторинге основного физического/химического состояния литий-ионных и других устройств хранения энергии [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.Г. Морозов, О.А. Степущенко, И.Р. Садыков. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3 (10). С. 3-13.

MONITORING OF LITHIUM-ION BATTERIES USING FIBER-OPTIC SENSORS

Kazarov V.Yu., Morozov O.G.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article explores the use of advanced fiber-optic sensors, such as address fiber Bragg structures, for real-time, in-situ monitoring of internal parameters in lithium-ion batteries.

УДК 621.383

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ГАЗА АККУМУЛЯТОРОВ

Казаров В.Ю., Морозов О.Г.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Датчик температуры и концентрации вентиляционного газа литий ионного аккумулятора состоит из адресной волоконной брэгговской структуры АВБС, комбинированной с резонатором Фабри-Перо РФП в виде полимерной пленки, созданной на торце АВБС. Следовательно, интенсивность выходного излучения датчика может быть приблизительно выражена как некий комбинированный спектр:

$$I_{\text{out}} = I_{\text{in}}\left[\rho_{\text{FBG1}} + \rho_{\text{FBG2}} + \left(1-\rho_{\text{FBG1}}-\rho_{\text{FBG2}}\right)^2 \rho_{\text{RFP}}\right], \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ВБР1}}$, $\rho_{\text{ВБР2}}$ и ρ_{RFP} – спектральные коэффициенты отражения первой и второй ВБР – компонент АВБС и РФП.

Данные коэффициенты соответственно определяются как:

$$\rho_{\text{FBG}i} = R_i \exp\left[-\left(\lambda-\lambda_{\text{FBG}i}\right)^2/\omega^2\right], \quad (2)$$

$$\rho_{\text{RFP}} = 2R_{\text{SMF}}\left[1+\cos\left(4\pi L/\lambda+\pi\right)\right], \quad (3)$$

где R_i – пиковая отражательная способность первой и второй ВБР (i = 1,2, R_i=0,6-0,8), $\lambda_{\text{ВБР}i}$ и ω – их центральная длина волны и ширина полосы пропускания, равная для обеих ВБР, R_{SMF} – отражательная способность конца одномодового волокна, на котором собран датчик, L – длина РФП:

$$L = \lambda_{\text{RFP1}}\lambda_{\text{RFP2}}/2\left(\lambda_{\text{RFP2}}-\lambda_{\text{RFP1}}\right), \quad (4)$$

где λ_{RFP1}, λ_{RFP2} – длины волн соседних узлов или пучностей огибающей отражения РФП. Реакция датчика на изменение концентрации газа может быть связана с упруго-оптическим эффектом, что приведет к изменению толщины полимерной пленки РФП. Температурный отклик датчика можно отнести к термическому эффекту расширения и термооптическому эффекту используемого полимера, что также приведет к изменению длины РФП, но и центральной длины первой и второй ВБР АВБС. Сдвиг центральной длины волны компонент АВБС может быть задан как $\Delta\lambda_{\text{FBG}i} = 2\delta n_{\text{eff}}\Lambda_i$, где Λ_i – период первой и второй ВБР, δn_{eff} – изменение эффективного показателя преломления сердцевины волокна SMF. Одновременное измерение концентрации газа, как изменения толщины полимерной пленки, и температуры может быть реализовано путем измерения изменения длины волны огибающей, вызванной интерференцией отраженных от РФП волн и сдвига центральных длин волн первой и второй ВБР. Когда изменения длины волны огибающей РФП $\Delta\lambda_{\text{RFP}}$ и сдвига центральных длин волн первой и второй ВБР $\Delta\lambda_{\text{AFBS}}$ ($\Delta\lambda_{\text{AFBS}} = \Delta\lambda_{\text{ВБР1}} = \Delta\lambda_{\text{ВБР2}}$, что следует из теории АВБС [1]) определены, можно построить матрицу чувствительности датчика в целом как:

$$\begin{bmatrix} \Delta\lambda_{\mathrm{RFP}} \\ \Delta\lambda_{\mathrm{AFBS}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{\mathrm{RFP,C}} & K_{\mathrm{RFP,T}} \\ K_{\mathrm{AFBS,C}} & K_{\mathrm{AFBS,T}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta C \\ \Delta T \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $K_{\mathrm{RFP,C}}$ и $K_{\mathrm{RFP,T}}$ – чувствительность РФП по концентрации газа и температуре соответственно, $K_{\mathrm{AFBS,C}}$ и $K_{\mathrm{AFBS,T}}$ – соответствующие чувствительность АВБС по концентрации газа и температуре. Используя обращение матрицы, относительные значения концентрации газа и температуры можно получить с помощью следующих матриц:

$$\begin{bmatrix} \Delta C \\ \Delta T \end{bmatrix} = \frac{1}{M} \begin{bmatrix} K_{\mathrm{AFBS,T}} & -K_{\mathrm{RFP,T}} \\ -K_{\mathrm{AFBS,C}} & K_{\mathrm{RFP,C}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\lambda_{\mathrm{RFP}} \\ \Delta\lambda_{\mathrm{AFBS}} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $M = K_{\mathrm{AFBS,T}}K_{\mathrm{RFP,C}} - K_{\mathrm{AFBS,C}}K_{\mathrm{RFP,T}}$ является определителем матрицы.

Коэффициенты матрицы могут быть определены через индивидуальное измерение характеристик датчика по температуре и концентрации газа путем калибровки изменений длины волны огибающей, вызванной интерференцией отраженных от РФП волн и сдвига центральной длины волны АВБС.

Проведенное моделирование спектрального отклика КВОД с разрешением 1 пм в диапазоне 1520–1580 нм показало, что отраженный спектр при комнатной температуре и стандартном давлении в 1 атм показывает сверхвысокие спектральные контрасты около 18 и 9 дБ для РФП и АВБС на рис. 1.

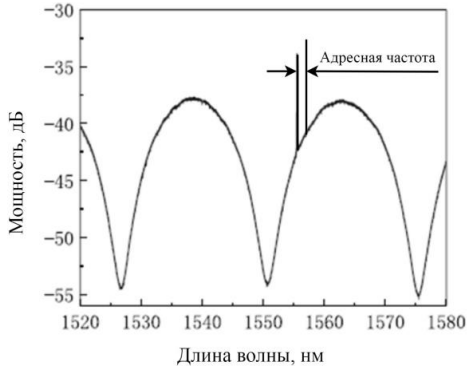


Рис. 1. Спектр отраженного излучения КВОД (лабораторные условия)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

MONITORING OF TEMPERATURE AND CONCENTRATION OF VENTILATION GAS OF THE BATTERY

Kazarov V.Yu., Morozov O.G.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents a fiber-optic sensor that combines an address fiber Bragg structure with a Fabry-Perot resonator to monitor the temperature and gas concentration in lithium-ion battery ventilation systems.

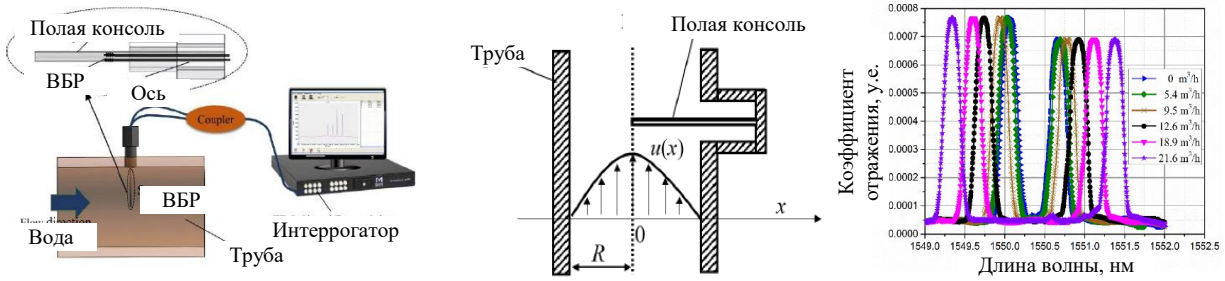
УДК 621.383

РАДИОФОТОННЫЙ СЕНСОР КОНСОЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Потанин А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Для измерения расхода жидкости был предложен волоконно-оптический расходомер (ВОР) зондового типа (рис. 1,*а*) [1]. Полая цилиндрическая консоль (рис. 1,*б*) была впервые использована для измерения силы, создаваемой жидкостью, без усилителя нагрузки. Пара волоконных брэгговских решеток (ВБР) или АВБС [2, 3], приклеенных к внутренней стенке, использовалась для измерения деформации консоли. Скорость потока можно получить, отслеживая разницу двух сдвинутых длин волн Брэгга (рис. 1,*в*).



а *б* *в*

Рис. 1. Структура типового ВОР дифференциального давления

Под воздействием жидкости консоль изгибается, и изгиб передается двум ВБР. Одна ВБР показывает «красное» смещение при растяжении, а другая показывает «синее» смещение при сжатии. Когда жидкость представляет собой ламинарный поток, его скорость в произвольном месте внутри трубопровода может быть описана как:

$$u(r) = 2V\left[1-(r/R)^2\right], \tag{1}$$

где r – радиальный размер от центра трубопровода, V – средний расход, R – радиус трубопровода как показано на рис. 1,*в*. При попадании части жидкости на поверхность консоли кинетическая энергия жидкости в зоне консоли преобразуется в приращение давления ΔP. По закону сохранения энергии P может быть описана как [10]:

$$\Delta P = \rho u(r)^2 / 2, \tag{2}$$

где ρ – плотность жидкости. Таким образом, сила, воздействующая на консоль с мишенью диаметра d может быть выражена как

$$F = \int_0^{d/2}\left[\rho u(r)^2/2\right]2\pi r dr = \frac{96\pi\rho V^2}{R^4}\left(48R^4d^2 - 12R^2d^4 + d^6\right). \tag{3}$$

Согласно теории механики соотношение между деформациями места, находящегося на расстоянии x от свободного конца и сила на консоли:

$$\varepsilon_x = kF, \tag{4}$$

где ε_x – деформация в направлении оси x, а k – коэффициент деформации, относящийся к параметрам консоли и расстоянию x от свободного конца. Сдвиг брэгговской длины волны λ_B от деформации при изменении температуры ΔT:

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = (1-P_e)\varepsilon + (\alpha+\xi)\Delta T, \quad (5)$$

где ε равно ε_x, P_e – коэффициент фотоупругости волокна, α – коэффициент теплового расширения материала волокна, ξ – термооптический коэффициент волокна. В результате того, что две ВБР расположены близко друг к другу, сдвиги их длин волн, вызванных температурой, считаются идентичным. Однако сдвиги, вызванные деформацией консоли направлены в противоположные стороны с одинаковыми значениями. Разницу между двумя сдвинутыми брэгговскими длинами волн, зависящую от потока, можно описать как:

$$\Delta\lambda_{B12}/\lambda_B = (1-P_e)\varepsilon_x = 1052(1-P_e)kF\left(V^2/R^4\right)\left(48R^4d^2 - 12R^2d^4 + d^6\right), \quad (6)$$

где $F\left(V^2/R^4\right)$ – функция и ее ранее описанные параметры.

Кроме того, объемный расход можно описать как

$$Q = AV, \quad (7)$$

где Q – объемный расход, а A – площадь сечения трубопровода. Тогда разница между двумя смещенными длинами волн Брэгга может быть описана как:

$$\Delta\lambda_{B12}/\lambda_B = (1-P_e)\varepsilon_x = 1052(1-P_e)kF\left((Q/A)^2/R^4\right)\left(48R^4d^2 - 12R^2d^4 + d^6\right). \quad (8)$$

Приведенное выше уравнение представляет собой теоретическое соотношение между разностью длин волн Брэгга и объемным расходом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Потанин. Волоконно-оптические дифференциальные расходомеры на двух волоконных брэгговских решетках. Определение направлений развития // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2023. Т. 3. № 1. С. 29-41.

2. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

3. Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов [и др.] Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 2 (62). С. 57-73.

CANTILEVER TYPE MICROWAVE PHOTONICS SENSOR FOR FLOW MEASUREMENT

Potanin A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article presents a cantilever-type microwave photonics flow sensor that uses fiber Bragg gratings attached to a hollow cylinder to measure fluid flow by detecting differential strain.

УДК 621.383

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Потанин А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В докладе проанализированы и оценены характеристики типовых и нетиповых волоконно-оптических расходомеров (ВОР) на базе двух ВБР и дифференциальных методов измерений давления на них с компенсацией температуры. Как было показано они обладают малой разрешающей способностью и точностью измерений, особенно в области малых расходов [1]. Большие точность и разрешающую способность можно получить, если использовать в измерительном преобразовании радиофотонные подходы. Однако и в этом случае разрешающая способность остается проблемой.

Учитывая разработанные в Казанской школе радиофотоники методы измерений предложено использовать в ВОР либо ВБР с фазовым сдвигом, либо АВБС [2, 3]. Поскольку и первые, и последние продолжают развиваться, могут быть найдены новые и более совершенные пути повышения эффективности мониторинга расхода жидкостей в том числе с адресным радиофотонным подходом по матрице датчиков, расположенных в поперечном сечении трубы, что позволит обрабатывать не только ламинарные, но и турбулентные потоки.

При этом поставлена задача повышения разрешающей способности [4]. Увеличение разрешающей способности достигается использованием для анализа характерных сверхузкополосных особенностей спектра отражения ВРБ, применением узкополосных ВБР, построения инфтерферометров Фабри-Перо со сверхузкой полосой пропускания и т.д. Следует отметить, что в ВОР практически не используется такая структура, как ВБР с фазовым π-сдвигом, отличающаяся наличием сверхузкополосной зоной пропускания, размещенной при определенных условиях на центральной длине волны решетки. Реально достижимая полуширина резонансного спектра ВОР в конфигурации ИФП составляет по данным [4] 0,025 нм, а для ВБР – 0,5 нм. Это значит, что разрешающая способность ИФП ВОР в 20 раз лучше, чем у датчика на ВБР.

Развивая данный подход можно использовать для создания ВОР ВБР с фазовым π-сдвигом, которая представляет собой простейший ИФП с длиной резонатора, не превышающей λ_B. Полуширина резонансного пика такого типа решеток может достигать 0,005 нм, что свидетельствует о возможном увеличении разрешающей способности измерений на два порядка по сравнению с датчиком на одной ВБР [4]. Кроме того, нами было найдено новое решение, основанное на применении вместо известных типов ВБР адресных волоконных брэгговских структур (АВБС) [2, 3]. Основными их преимуществами являются возможность работы с 64 датчиками на одной длине волны, наличие в их структуре сверузкополосных окон прозрачности, разностная частота между которыми соответствует уникальному адресу каждой АВБС, возможность

радиофотонного опроса каждой АВБС на частоте своего адреса и обработка информации в радиочастотной области, что существенно повышает метрологические характеристики разрабатываемого ВОР. При этом ширина полосы пропускания окна прозрачности на 2-3 порядка уже полосы пропускания/отражения ВБР, что говорит о высокой разрешающей способности измерительного преобразования по оценке сдвига центральной длины волны АВБС. В то же время применение АВБС является новой концепцией для исследователей и инженеров-электриков. Кроме того, основные работы, выполняемые в лабораториях по малым и упрощенным моделям, далеки от реальных полевых условий.

Таким образом, исследования стабильности волоконно-оптической сенсорной системы на АВБС в реальном ВОР должны быть сосредоточены на полевых исследованиях. Методы применения АВБС в ВОР следует оценивать с учетом высокого уровня электрических помех, способных вызвать нелинейные эффекты в волокне, а также существенных изменений температур жидкостей, которые могут превышать 300 °C. Кроме того, ВОР обычно требуют длительной работы в жидкости, таким образом старение материала волокна является еще одной важной проблемой, которую следует учитывать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Потанин. Волоконно-оптические дифференциальные расходомеры на двух волоконных брэгговских решетках. Определение направлений развития // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2023. Т. 3. № 1. С. 29-41.

2. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

3. Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев [и др.] Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 2 (62). С. 57-73.

4. А.Ф. Аглиуллин, Т.А. Аглиуллин, Б.И. Валеев [и др.] Метод уточнения значения частотного сдвига спектра, полученного в условиях малой разрешающей способности анализатора // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2022. № 4 (56). С. 63-74.

SETTING RESEARCH OBJECTIVES FOR MICROWAVE PHOTONICS FLOW MEASUREMENT SYSTEMS

Potanin A.A.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article outlines research objectives for developing high-precision microwave photonics flow measurement systems using advanced fiber-optic elements like phase-shifted FBGs and address Ffiber Bragg structures.

УДК 621.383

ПУТИ РАЗВИТИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА

Субботин А.П., Морозов О.Г.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Распространение использования этанола увеличивает спрос на измерение его характеристик на разных стадиях технологического процесса [1].

На практике разработан и рассмотрен ряд волоконно-оптических датчиков (ВОД) для измерения концентрации этанола, преимущественно в водных растворах. В зависимости от используемых, методы измерения можно разделить на четыре группы: абсорбционные, внешние интерферометрические, датчики с волоконной решеткой и плазмонные датчики. Датчики этих групп можно сравнить по их характерным показателям эффективности, включая чувствительность, разрешение и диапазон измерения. Особое внимание уделяется потенциальным областям применения датчиков на волоконных брэгговских решетках (ВБР) в силу их дешевизны и появления новых дешевых радиофотонных интеррогаторов, поскольку производство этанола во всем мире рассматривается как важная отрасль промышленности.

1. Травленая ВБР, сконструированная в различных конфигурациях для работы в качестве рефрактометрического датчика, для смесей воды и этанола в диапазоне концентраций от 0 до 100%. Были использованы две ВБР, полученные методом влажного травления, с длинами волн Брэгга, близкими к 1300 и 1500 нм, которые показали чувствительность 6,5 ± 0,2 нм/RIU и 2,9 ± 0,2 нм/RIU при температуре 25,0 ± 0,5 °C соответственно. Также исследовался эффект неоднозначной связи между RI и содержанием этанола в смеси с концентрацией выше 80%.

2. Сенсор концентрации этанола на основе поглощения в ВБР с нанесенной тонкой пленкой золота различной толщины. Были сравнены отклики поглощения стандартного непокрытого золотом волокна, покрытого волокна, непокрытой ВБР и покрытой ВБР. Сенсоры были покрыты тонкими золотыми пленками толщиной 35, 40 и 50 нм, и было замечено, что увеличение толщины золотого слоя увеличивает поглощение сенсора. Сенсоры были охарактеризованы для смесей этанола и воды с концентрацией этанола 0-99,7%.

3. Описан метод оптического зондирования, основанный на комбинации ВБР и длинно-периодной волоконной решетки (ДПВР), покрытых оксидом меди (Cu_2O). ДПВР использовалась для количественного определения этанола в смесях этанола с бензином, а ВБР – для контроля температуры. Авторы получили результаты спектров ДПВР при работе на воздухе, чистом этаноле, чистом бензине (без этанола) и смесях этанола с бензином от 1,5 до 30%. Покрытая оксидом меди ДПВР показала более высокую чувствительность. Эта оптоволоконная сенсорная система обеспечила хорошую производительность,

избежав при этом использования дорогостоящих методов газовой хроматографии для определения составов образцов этанола с бензином.

4. Конструкция оптического датчика на основе двойных ВБР, интегрированных в структуру кольцевого лазера с эрбиевым волокном для измерения сдвига длины волны без необходимости использования спектрометра в качестве детектора этанола. Они использовали одну ВБР в качестве эталона и протравленную ВБР в качестве чувствительного зонда.

5. Недавно использован датчик на травленой ВБР с избирательным покрытием GO для измерения этанола в бензине. По сравнению с непокрытой, травленая ВБР с покрытием GO продемонстрировал десятикратное увеличение чувствительности к этанолу. Этот датчик был основан на измерении изменений интенсивности спектров отражения при изменении процентного содержания этанола в бензине от 0 до 100%. Доля этанола в топливе была обнаружена вплоть до 0,5%, что было заявлено как лучшее, чем у стандартной травленой ВБР, основанной исключительно на измерениях сдвига длины волны. Чувствительность данного датчика составила 0,18 дБ/процент концентрации и пренебрежимо малая температурная чувствительность в пределах 5 °C от значения температуры окружающей среды.

Датчики, обсуждаемые в докладе, использовались для общих задач и контроля качества этанола, этанола в воде и этанола в топливе. Было отмечено, что ВБР изначально нечувствительны к химическим изменениям окружающей среды и требуют травления или уменьшения толщины оболочки, чтобы стать чувствительными к изменениям содержания этанола в окружающей среде [2]. Это делает их хрупкими и менее прочными, а перекрёстная температурная чувствительность вызывает опасения. Датчики на ВБР часто требуют дорогостоящих систем опроса, таких как спектроанализаторы или спектрометры. Эти препятствия можно преодолеть при использовании АВБС и радиофотонных интеррогаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.F. Memon [и др.] A Review of Optical Fibre Ethanol Sensors: Current State and Future Prospects // Sensors. 2022. Vol. 22. P. 950.

2. О.Г. Морозов, О.А. Степущенко, И.Р. Садыков. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Марийского государственного технического университета. 2010. № 3 (10). С. 3-13.

WAYS TO DEVELOP FIBER-OPTIC SENSORS FOR MEASURING ETHANOL CONCENTRATION

Subbotin A.P., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article reviews the development of fiber-optic sensors for measuring ethanol concentration, analyzing various configurations including etched and coated fiber Bragg gratings.

УДК 621.383

ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

Субботин А.П., Морозов О.Г.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

С учетом рассмотренных положений в [1] нами предложена параллельная структура ВОД рефрактометрического типа (РТ), основанная на использовании волоконной решетки брэгговской ВРБ с π–сдвигом и двухчастотном методе зондирования как ее центрального лоренцевского контура пропускания, так и внешнего гауссова контура отражения. Обработка сигнала ведется для огибающих на соответствующих промежуточных частотах для каждого из контуров. При этом формируется двухконтурная система измерений с «грубым» гауссовским и «точным» лоренцевским контурами. Структура ВОД РТ показана на рис. 1.

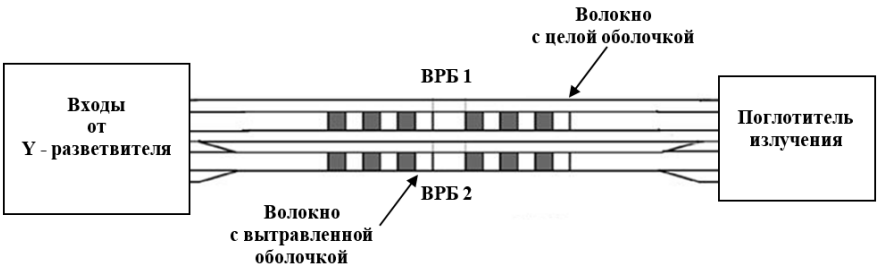


Рис. 1. Структура ВОД РТ параллельной структуры

В этом случае расстройкам, полученным при двухчастотном зондировании на каждой из длин волн, не ставится в соответствие какой-либо из физических параметров, а проводится дополнительная процедура вычислений по следующим алгоритмам.

Выходные сигналы U_{R_1} и U_{R_2} для огибающих на промежуточных частотах описываются следующими выражениями

$$U_{R_1} = \delta_{T1}(\lambda_1)T + \delta_{n_{eff}1}(\lambda_1)n_{eff},\ U_{R_2} = \delta_{T2}(\lambda_2)T + \delta_{n_{eff}2}(\lambda_2)n_{eff},$$

где $\delta_{T1}(\lambda_1), \delta_{n_{eff}1}(\lambda_1)$, $\delta_{T2}(\lambda_2), \delta_{n_{eff}2}(\lambda_2)$ – известные коэффициенты на измерительных характеристиках, соответствующие зависимостям расстройки решеток, предварительно настроенных на длины волн λ_1 и λ_2 по температуре и эффективному коэффициенту преломления.

Отсюда

$$T = \frac{U_{R1}\delta_{n_{eff}2}(\lambda_2) - U_{R2}\delta_{n_{eff}1}(\lambda_1)}{\delta_{T1}(\lambda_1)\delta_{n_{eff}2}(\lambda_2) - \delta_{T2}(\lambda_2)\delta_{n_{eff}1}(\lambda_1)},\ n_{eff} = \frac{U_{R2}\delta_{T1}(\lambda_1) - U_{R1}\delta_{T2}(\lambda_2)}{\delta_{T1}(\lambda_1)\delta_{n_{eff}2}(\lambda_2) - \delta_{T2}(\lambda_2)\delta_{n_{eff}1}(\lambda_1)}.$$

Эти математические вычисления выполняются в программном блоке ВОД РТ и позволяют одновременно получить значения параметров температуры и

эффективного коэффициента преломления в зоне расположения ВРБ1 и ВРБ2. Коэффициент преломления исследуемого материала (окружающей ВОД РТ среды) n_{amb} может быть определен по полученному n_{eff} и известных коэффициенте преломления сердцевины n_{co} и радиусе a_{cl} оболочки вытравленного волокна по процедуре, описанной в [2].

Результаты моделирования процесса измерений в ВОД РТ показаны на рис. 2 и демонстрируют «красный» сдвиг центральной длины волны ВРБ относительно воздуха (air, *n*=1) для метанола (methanol, *n*=1,326), этанола (ethanol, *n*=1,359) и изопропилового спирта (IPA, *n*=1,378).

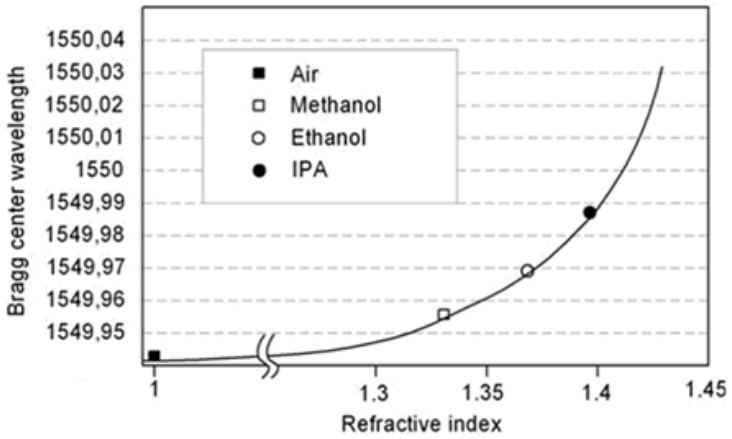


Рис. 2. Зависимость сдвига центральной длины волны ВРБ с π–сдвигом от показателя преломления вещества, окружающего ВОД РТ

При аппроксимации данной характеристики полученный отклик ВОД РТ составляет $\Delta\lambda/\Delta n = 0{,}6$ нм, что позволяет при нестабильности длины волны источника зондирующего излучения в сотни кГц (8×10^{-3} пм) говорить о детектировании изменений коэффициента преломления на уровне $1{,}3\times10^{-5}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.F. Memon [и др.] A Review of Optical Fibre Ethanol Sensors: Current State and Future Prospects // Sensors. 2022. Vol. 22. P. 950.

2. О.Г. Морозов, О.А. Степущенко, И.Р. Садыков. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток брэгга с фазовым сдвигом // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3 (10). С. 3-13.

MEASUREMENT OF ETHANOL CONCENTRATION BY A FIBER-OPTIC REFRACTOMETRIC SENSOR

Subbotin A.P., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article proposes a parallel-structure fiber-optic refractometric sensor based on a phase-shifted fiber Bragg grating for ethanol concentration measurement.

УДК 681.586.5

РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ

[1]Смирнов Н.Д.,[1]Липатников К.А., [2]Смирнов С.В.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, [2]Казанский юридический институт МВД РФ)

В настоящее время одним из направлений развития датчиков температуры в современной медицине и биологических исследованиях является переход на волоконно-оптические технологии. Данный тип датчиков получил наиболее широкое распространение в последнее десятилетие [1,2].

В данной работе представлены результаты эксперимента по созданию чувствительного элемента датчика температуры на основе интерферометра Фабри-Перо. За основу использовалась трубка из боросиликатного стекла с внешним диаметром 500 мкм.

В первом случае (рисунок 1) конец трубки кратковременно помещался в фотополимерную смолу, затем проводилось отвердевание УФ излучением. В боросиликатную трубку заводилось оптическое волокно на установленное расстояние и полученный корпус герметизировался. В результате фотополимерная смола служила зеркалом интерферометра, рабочем телом – воздушная прослойка между волокном и смолой.

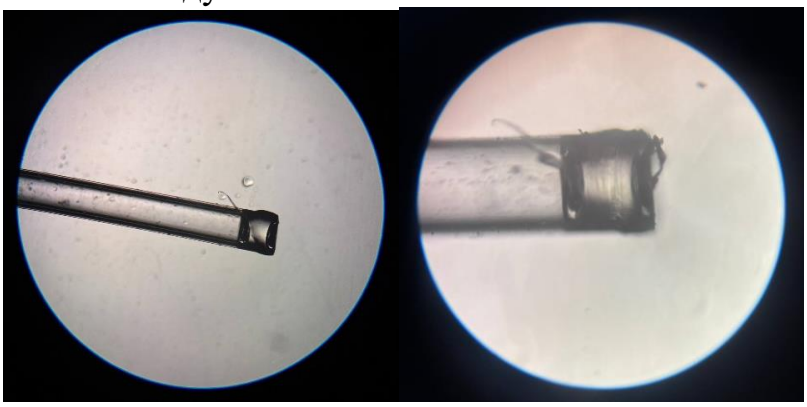


Рис. 1. Боросиликатная трубка с фотополимерной смолой на конце

В результате интерферометрический датчик показал низкую отражающую способность, мощность сигнала составляла порядка 200 пВт.

Во втором случае трубка из боросиликатного стекла помещалась в смолу по такому же принципу, но дополнительно осуществилось втягивание смолы за счет шприца (рисунок 2, а). Далее конец трубки оплавлялся в сварочном аппарате для оптического волокна. Результат оплавления представлен на рисунке 2, б. В данном эксперименте предполагалось, что смола будет выступать в роли рабочего тела интерферометра, а оплавленный конец трубки из боросиликатного стекла – зеркалом. В результате оплавления произошел нагрев фотополимерной смолы и ее испарение.

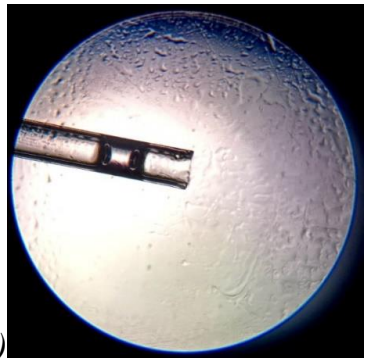
а)  *б)*

Рис. 2. Боросиликатная трубка с фотополимерной смолой внутри
а) трубка до оплавления; б) трубка после оплавления

В дальнейшем планируется использование других материалов, к примеру, жидкого стекла, лаков различных составов на замену фотополимерной смоле.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/. Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, Э. В. Интерферометрический датчик давления газа Фабри-Перо с каскадным резонатором, основанный на эффекте Вернье / Э. В. Белов, В. И. Артемьев, А. Ж. Сахабутдинов // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023: Материалы X Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 13–15 апреля 2023 года. – Казань

2. Интегрированный волоконно-оптический датчик Фабри-Перо и волоконной Брэгговской решетки для улучшенного измерения температуры / М. Р. Т. М. Каид, А. Ж. Сахабутдинов, О. Г. Морозов [и др.] // Актуальные исследования и инновации в науке и технике: Сборник статей III Международной научно-практической конференции, Москва, 14 мая 2025 года. – Москва

DEVELOPMENT OF A SENSITIVE ELEMENT OF AN INTERFEROMETRIC TEMPERATURE SENSOR USING PHOTOPOLYMER RESIN

[1]Smirnov N.D., [1]Lipatnikov K.A., [2]Smirnov S.V.
([1]National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, [2]Kazan Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia)

Abstract. This paper presents the results of an experiment to create a temperature sensor based on a Fabry-Perot interferometer. The sensor was based on a borosilicate glass tube with an outer diameter of 500 μm and a photopolymer resin.

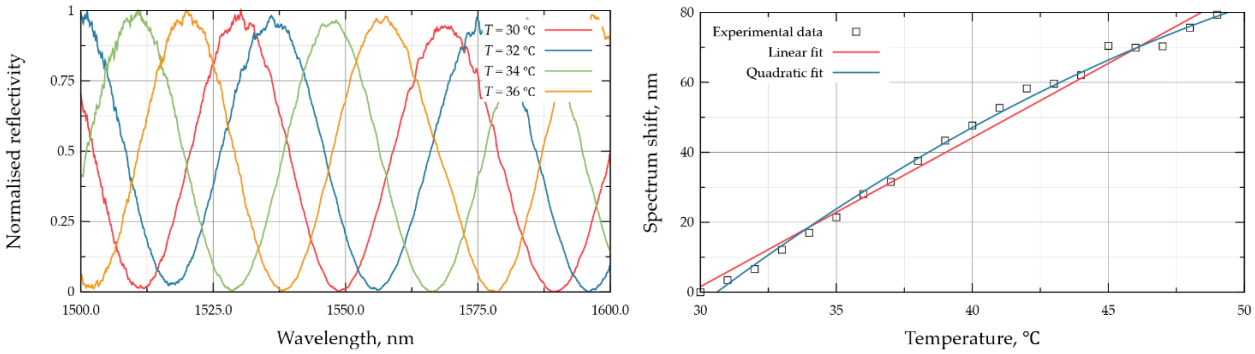
УДК 681.586.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНИАТЮРНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

Смирнов Н.Д., Липатников К.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В рамках исследования экспериментально изучено влияние температуры в интервале от 30 °C до 50 °C на спектральный отклик интерферометра Фабри-Перо. Полученная зависимость смещения спектральных характеристик от температуры представлена на рисунках 1, а и 1, б. [1].

Экспериментальные данные были аппроксимированы линейной и квадратичной моделями. Коэффициент корреляции для квадратичной зависимости составил 0.9976, для линейной - 0.9924 [2].



а) *б)*

Рис. 1. а) спектральные характеристики экспериментально полученного интерферометра Фабри-Перо при температуре T = 30 °C (желтая линия), T = 32 °C (синяя линия), T = 34 °C (зеленая линия) и T = 36 °C (оранжевая линия); б) зависимость смещения спектральной характеристики интерферометра Фабри – Перо: экспериментальные значения (отмечены квадратами), линейная аппроксимация (красная линия) и квадратичная аппроксимация (синяя линия) [3]

Чувствительность датчика можно оценить по линейной аппроксимации:

$$S_T = \frac{d}{dT}\Delta\lambda_L(T) = 4.25564\ \text{nm} \cdot °C^{-1}\ . \qquad (1)$$

В работе экспериментально изучено влияние температуры (30–50 °C) на спектральный отклик интерферометра Фабри–Перо. В ходе исследования получена чувствительность устройства, равная 4.256 °C⁻¹.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agliullin, T.; Anfinogentov, V.; Morozov, O.; Sakhabutdinov, A.; Valeev, B.; Niyazgulyeva, A.; Garovov, Y. Comparative Analysis of the Methods for Fiber Bragg Structures Spectrum Modeling. Algorithms 2023, 16, 101. https://doi.org/10.3390/a16020101

2. Артемьев, В. И. Математическое моделирование волоконно-оптического датчика износа на основе интерферометра Фабри-Перо / В. И. Артемьев, Э. В. Белов, М. Р. Ганеева // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях : Материалы XXIV Международной научно-технической конференции и материалы XX Международной научно-технической конференции. В 2-х томах, Уфа, 23–25 ноября 2022 года. – Уфа: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ", 2023. – С. 55-57.

3. Nikita D. Smirnov, Konstantin A. Lipatnikov, Bulat I. Valeev, "Miniature temperature sensor based on Fabry-Perot interferometer for biological and medical research," Proc. SPIE 13738, Optical Technologies for Telecommunications 2024, 137380E (14 August 2025); https://doi.org/10.1117/12.3067474

EXPERIMENTAL STUDY OF A MINIATURE TEMPERATURE SENSOR BASED ON FABRY-PEROT INTERFEROMETER

Smirnov N.D., Lipatnikov K.A.

(National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. This paper presents an experimental study of the spectral response of a Fabry-Perot interferometer under temperature influence. The sensitivity of the sensor is calculated.

УДК 681.586.5

СИСТЕМА ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР

Артемьев В.И., Аборин А.И., Ижелеев Р.Н., Смирнов Н.Д.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Волоконная брэгговская решетка (ВБР) является самым распространенным чувствительным элементом волоконно-оптического датчика. Однако главным ограничением ВБР является одинаковая реакция на температуру и деформацию (сдвигом волоконной брэгговской длины волны). Самым простым способом различить два этих фактора является использование метода, который основан на использование волоконных брэгговских решеток, записанных в разных по составу оптических волокнах [1]. Однако данная система не лишена и недостатков, среди которых в первую очередь можно выделить трудность определения центральной длины волны, а также сложная и дорогостоящая система интеррогации. Для устранения указанных недостатков нами предлагается использовать в качестве чувствительного элемента датчика две расположенные параллельно адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС), которые, как и в рассматриваемой ранее системе записаны в оптических волокнах разного состава. Использование данной структуры позволяет повысить чувствительность измерений в 3-6 раз, за счет обработки результатов измерений на разностной частоте, а также позволяет на порядок снизить стоимость сенсорной системы за счет применения радиофотонных средств опроса, вместо дорогостоящих интеррогаторов.

На рис. 1 представлена структурная схема предлагаемой системы одновременного измерения температуры и деформации.

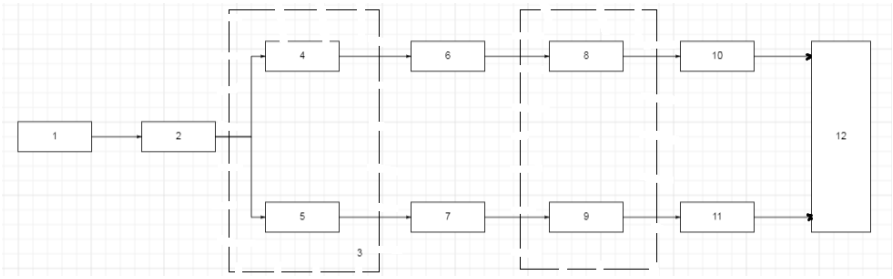


Рис. 1. Структурная схема системы одновременного измерения температуры и деформации на основе АВБС

Схема содержит широкополосный лазерный диод (1), разветвитель 1x2 (2), волоконно-оптический датчик (3), первая адресная волоконная брэгговская структура (4), вторая адресная волоконная брэгговская структура (5), первый фильтр с линейной наклонной АЧХ (6), второй фильтр с линейной наклонной АЧХ (7), первый фотоприемник (8), второй фотоприемник (9), первый полосовой

фильтр (10), второй полосовой фильтр (11), контроллер определения температуры и деформации (12).

Принцип работы схемы заключается в следующем. Широкополосный лазерный диод (1) излучает свет в широком спектральном диапазоне, который поступает на разветвитель (2). Разветвитель делит световой поток на два канала, направляя его в волоконно-оптический датчик (3), который состоит из двух параллельно расположенных абсолютно идентичных адресных волоконных брэгговских структур (4) и (5). В результате пропускания **с**светового потока через волоконно-оптический датчик (3) формируется два абсолютно идентичных двухчастотных излучения в первом и втором канале**.** Полученные сигналы проходят через фильтры с линейной наклонной амплитудно-частотной характеристикой (6) и (7), преобразующие спектральный сдвиг в изменение интенсивности света. Затем сигналы регистрируются двумя фотоприемниками (8) и (9). В двух фотоприемниках происходит преобразование оптического сигнала в электрический и на выходе фотоприемников, будет наблюдаться разностная частота с определенной амплитудой, которая будет меняться под воздействием температуры и деформации. преобразуюсь в электрические сигналы. Полосовые фильтры (10) и (11), которые указаны на схеме нужны для того чтобы подавить шумы и выделить полезную информацию, т.е. разностную частоту. Далее полученные сигналы поступают на контроллер определения температуры и деформации (12), который анализирует данные, вычисляя температуру и деформацию по разнице в сдвигах длин волн от двух АВБС. Как и в рассматриваемом варианте схемы (подраздел 1.5) чтобы отличить влияние температуры и деформации, АВБС будут записаны в оптические волокна G22 и PS1500. Кроме того, необходимо строго параллельное расположение двух АВБС для обеспечения одновременного воздействия температуры и деформации.

Результаты моделирования данной схемы будут представлены в следующем тезисе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы одновременного контроля деформации и температуры композитных конструкций волоконно-оптическими датчиками / М. Ю. Федотов, О. Н. Будадин, С. О. Козельская, В. С. Терентьев // Конструкции из композиционных материалов. – 2020. – № 2(158). – С. 44-51.

SIMULTANEOUS TEMPERATURE AND STRAIN MEASUREMENT SYSTEM BASED ON ADDRESSABLE FIBER BRAGG STRUCTURES

Artemiev V.I., Aborin A.I., Izheleev R.N., Smirnov N.D.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

A scheme for simultaneous measurement of temperature and deformation based on addressable fiber Bragg structures was presented and described in detail, which, according to our estimates, will increase the sensitivity of measurements by 3-6 times, and will also reduce the cost of the sensor system by an order of magnitude.

УДК 681.586.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР

Артемьев В.И., Аборин А.И., Ижелеев Р.Н., Смирнов Н.Д.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В данной работе будут представлены результаты компьютерного моделирования системы одновременного измерения температуры и деформации на основе адресных волоконных брэгговских структур (АВБС), структурная схема которой была показана в предыдущей работе.

На рис. 1 представлен смоделированный спектр пропускания АВБС.

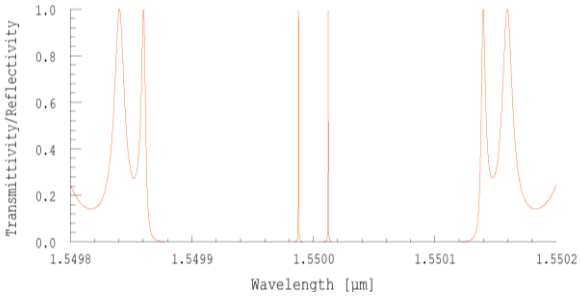


Рис. 1. Спектр пропускания АВБС

На рисунке 1 видно два характерных провала в спектре АВБС и разность между провалами составляет $\Delta\lambda$ = 0.024 нм, что соответствует разностной частоте f = 3 ГГц.

Компьютерное моделирование предлагаемой системы проводилось в программе OptiSystem, схема которой представлена на рисунке 2.

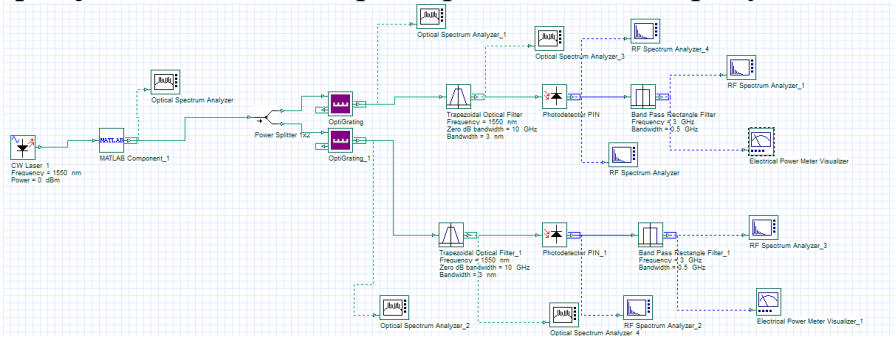


Рис. 2. Схема моделирования, собранная в программе OptiSystem

CW_Laser 1 и MATLAB Component_1 формируют широкополосное лазерное излучение, которое направляется в две АВБС (OptiGrating и OptiGrating_1) через разветвитель (Power Splitter 1x2). Далее полученное излучение поступает в фильтр с линейной наклонной АЧХ (Trapezoidal Optical Filter и Trapezoidal Optical Filter_1), где в соответствии с приложенным воздействием температуры и деформации происходит ослабление сигнала в спектрах АВБС. Далее сформированное излучение поступает в полосовые

фильтры (Band Pass Rectangle Filter и Band Pass Rectangle Filter_1) для того чтобы выделить адресные частоты. Затем фотоприемник преобразует полученное излучение в электрические сигналы, по изменению мощности которых можно определить точный сдвиг центральных длин волн двух АВБС и после определить значение температуры и деформации. В ходе компьютерного моделирования предполагалось, что температура будет влиять одновременно и равномерно на обе АВБС в диапазоне от 0 ºС до 150 ºС с шагом 25 ºС, а деформация в диапазоне от 0 мкε до 1500 мкε с шагом 250 мкε.

По полученным значениям мощности сигналов на выходе фотоприемников, определим значения сдвига брэгговских длин волн первой и второй АВБС $\Delta\lambda_{B1}$ и $\Delta\lambda_{B2}$. Затем по полученным значениям $\Delta\lambda_{B1}$ и $\Delta\lambda_{B2}$ и известным коэффициентам чувствительности к температуре и деформации оптических волокон PS1500 и G22 K_{T1}, K_{T2} и $K_{\varepsilon 1}$, $K_{\varepsilon 2}$ с помощью матрицы [1] получим значения температуры и деформации. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

P_1, мВт	P_2, мВт	$\Delta\lambda_{B1}$, нм	$\Delta\lambda_{B2}$, нм	T, ºC	*Δε,* мкε
9.712	9.712	0	0	0	0
7.190	6.985	0,3425	0,3745	25	250
5.168	4.875	0,685	0,749	50	500
3.674	3.398	1,0275	1,1235	75	750
2.636	2.344	1,37	1,498	100	1000
1.890	1.632	1,7125	1,8725	125	1250
1.368	1.114	2,055	2,247	150	1500

Исходя из табл. 1 видно, полное совпадение заданных и полученных значений, что говорит о полной работоспособности предлагаемой схемы и ее высоких метрологических характеристиках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы одновременного контроля деформации и температуры композитных конструкций волоконно-оптическими датчиками / М. Ю. Федотов, О. Н. Будадин, С. О. Козельская, В. С. Терентьев // Конструкции из композиционных материалов. – 2020. – № 2(158). – С. 44-51.

COMPUTER SIMULATION OF A SIMULTANEOUS TEMPERATURE AND STRAIN MEASUREMENT SYSTEM BASED ON ADDRESSABLE FIBER BRAGG STRUCTURES

Artemiev V.I., Aborin A.I., Izheleev R.N., Smirnov N.D.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents the results of computer modeling of a simultaneous temperature and strain measurement system based on addressable fiber Bragg structures (AFBG), the structural scheme of which was shown in a previous paper.

УДК 681.586.5

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

[1]Артемьев В.И., [1]Камалов Б.М., [1]Тихонов Я.С., [1]Смирнов Н.Д., [2]Смирнов С.В.
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, [2]Казанский юридический институт МВД РФ)

В данной работе будет предложено решение по устранению недостатков системы измерения температуры на двух параллельных сенсорах [1]. Для повышения диапазона измерения температуры предлагается использовать широкополосный источник лазерного излучения вместо узкополосного, а в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического датчика – две идентичные волоконные брэгговские решетки с фазовым сдвигом. Для того чтобы обеспечить разную чувствительность к температуре предлагается их запись в разных по составу оптических волокнах.

Структурная схема предлагаемой системы измерения температуры на основе волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом представлена на рисунке 1.

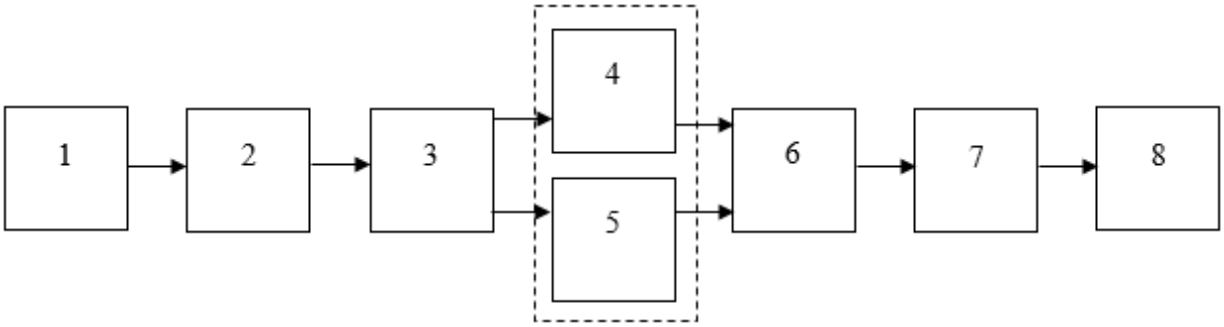


Рис. 1. Структурная схема системы измерения температуры на основе волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом

Схема содержит широкополосный источник лазерного излучения (1), полосовой фильтр (2), разветвитель 1×2 (3), первая волоконная брэгговская решетка с фазовым сдвигом (4), вторая волоконная брэгговская решетка с фазовым сдвигом (5), оптический объединитель 2x1 (6), фотодетектор (7), контроллер определения температуры (8).

Принцип работы системы заключается в следующем. Широкополосный источник лазерного излучения (1) испускает широкополосное излучение, которое направляется на полосовой фильтр (2) который ограничивает ширину спектра излучения в рассматриваемом диапазоне температур. Затем полученное излучение попадает на разветвитель (3), где разделяется на 2 канала и направляется на волоконно-оптический датчик, который состоит двух идентичных волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом (4) и (5). Далее сигналы пройдя через две волоконные брэгговские решетки объединяются в оптическом объединителе (6) и попадают на фотодетектор, на выходе которого регистрируется разностная частота между оптическими компонентами и по

сдвигу разностной частоты микроконтроллер (8) определяет температуру, которая воздействует на датчик.

Сдвиг разностной частоты на выходе фотоприемника является основным информационным параметром предлагаемого нами волоконно-оптического датчика температуры. Если записать волоконные брэгговские решетки в идентичные оптические волокна, то при одинаковом воздействии температуры на волоконно-оптический датчик сдвиг разностной частоты не произойдет. Для того чтобы обеспечить сдвиг разностной частоты на выходе фотоприемника нами предлагается провести запись волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом в разные по составу оптические волокна. Главным условием в выборе оптических волокон является их разная чувствительность к температуре. Нами были выбраны оптические волокна PS1500 с коэффициентом чувствительности к температуре K_{T1} = 6 пм/°С и G22 с коэффициентом чувствительности к температуре K_{T2} = 7,48 пм/°С.

Таким образом, в данной системе исключается необходимость использования оптических волокон специальной формы, таких как D-волокна, которые использовались в прототипе, благодаря чему существенно упрощается процесс изготовления волоконно-оптического датчика.

В схеме предполагается использование стандартного телекоммуникационного фотоприемника с полосой пропускания до 40 ГГц.

Результаты моделирования данной схемы будут представлены в следующем тезисе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patent 6024488 United States, Date of Patent: Feb. 15, 2000 Peng N. A. Chi // Nayeon Lee, Neta Gur-Ari. – 2000.

TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM BASED ON FIBER BRAGG GRATINGS WITH PHASE SHIFT

[1]Artemiev V.I., [1]Kamalov B.M., [1]Tikhonov Ya.S., [1]Smirnov N.D., [2]Smirnov S.V.
([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
[2]Kazan Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia)

Abstract. In this paper, temperature measurement systems based on two identical fiber Bragg gratings with the same phase shift and optical fibers of different composition will be proposed and described in detail.

УДК 681.586.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

[1]Артемьев В.И., [1]Камалов Б.М., [1]Тихонов Я.С., [1]Смирнов Н.Д., [2]Смирнов С.В.
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, [2]Казанский юридический институт МВД РФ)

В данной работе будут представлены результаты компьютерного моделирования системы измерения температуры на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР) с фазовым сдвигом [1], структурная схема которой была показана в предыдущей работе.

В программе OptiGrating 4.2.2 была смоделирована ВБР с фазовым сдвигом, спектр пропускания которой показан на рисунке 1.

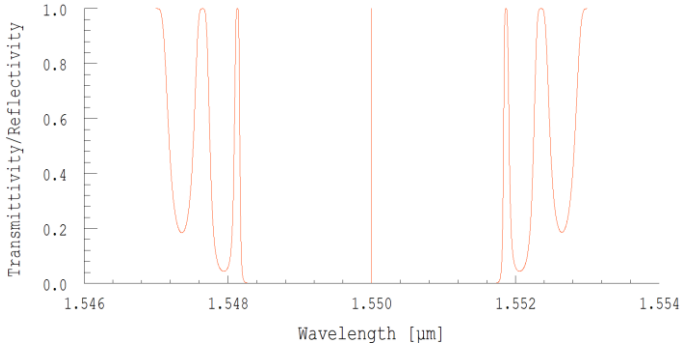


Рис. 1. Спектр пропускания АВБС

Компьютерное моделирование предлагаемой системы проводилось в программе OptiSystem, схема которой представлена на рисунке 2.

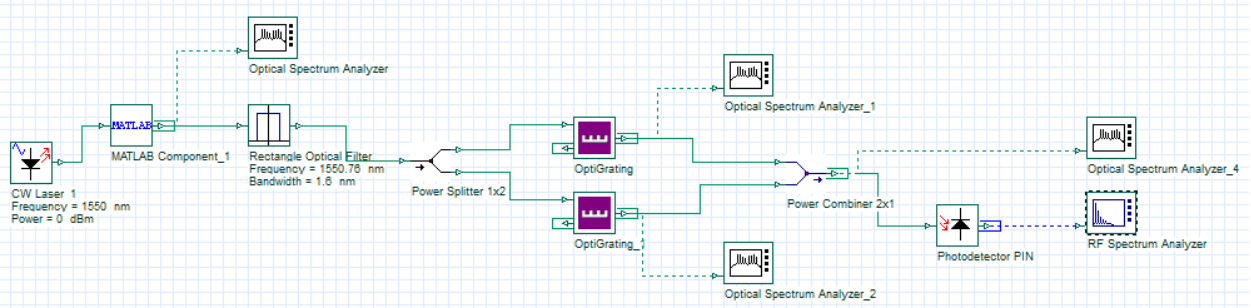


Рис. 2. Схема моделирования, собранная в программе OptiSystem

В ходе компьютерного моделировании предполагалось, что первая волоконная брэгговская решетка была записана в оптическом волокне PS1500 с коэффициентом чувствительности к температуре K_{T1} = 6 пм/^{0}С, а вторая волоконная брэгговская решетка была записана в оптическом волокне G22 с коэффициентом чувствительности к температуре K_{T2} = 7,48 пм/^{0}С. Также в ходе моделирования предполагалось, что температура изменялась от 0 до 200 °С шагом 10 °С.

На рисунке 3 представлен график зависимости разностной частоты от температуры.

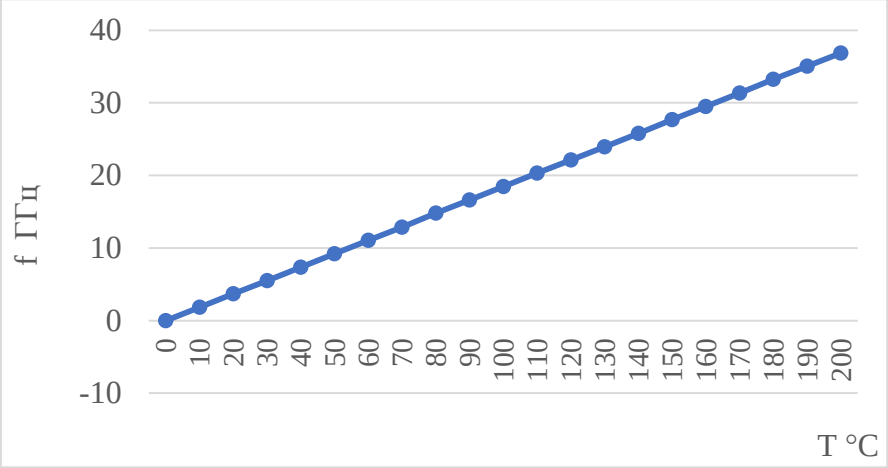


Рис. 3. Схема моделирования, собранная в программе OptiSystem

По графику видно, что с увеличение температуры, прикладываемой к волоконно-оптическому датчику, происходит увеличение разностной частоты на выходе фотоприемника, причем сдвиг разностной частоты происходит от 0 до 36 ГГц в диапазоне температуры от 0 °С до 200 °С. Таким образом, компьютерное моделирование подтверждает работоспособность предлагаемой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волоконные брэгговские решетки с двумя фазовыми сдвигами как чувствительный элемент и инструмент мультиплексирования сенсорных сетей / Р. Ш. Мисбахов, Р. Ш. Мисбахов, О. Г. Морозов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3(46). – С. 24.

COMPUTER SIMULATION OF A TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM BASED ON FIBER BRAGG GRATINGS WITH A PHASE SHIFT

[1]Artemiev V.I., [1]Kamalov B.M., [1]Tikhonov Ya.S., [1]Smirnov N.D., [2]Smirnov S.V.
([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
[2]Kazan Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia)

Abstract. This paper presents the results of computer simulation of a temperature measurement system based on fiber Bragg gratings (FBG) with a phase shift, the block diagram of which was shown in a previous paper.

УДК: 621.383

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ С РАДИОФОТОННЫМ ОПРОСОМ

[1]Ибрагимов Л. Д., [2]Нуреев И. И., [2]Белов Э. В., [2]Артемьев В. И., [2]Морозов О. Г., [2]Петров Н. А.

([1]Казанское приборостроительное конструкторское бюро, [2]Казанский национальный исследовательский технический унивеситет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В докладе представлен новый датчик обледенения на основе параллельных концевых интерферометрах Фабри-Перо с радиофотонным опросом, сформированный в двух одномодовых оптических волокнах, в каждом из которых в качестве зеркал используются слабоотражающая ультракороткая волоконная брэгговская решетка и ортогональный скол волокна, характеризуемый отражением Френеля.

Схема ИФП на основе ультракороткой слабоотражающей ВБР и сколотого торца волокна показана на рис. 1.

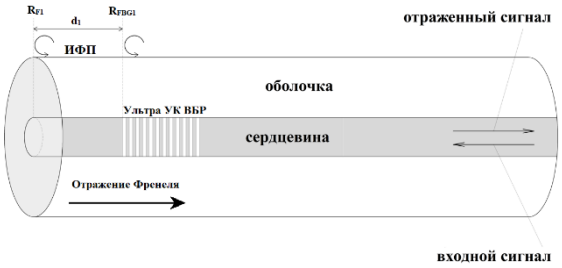


Рис. 1. Схема ИФП на основе сверхкороткой слабоотражающей ВБР и сколотого торца волокна

УК ВБР и хорошо сколотый торец волокна являются первой и второй отражающей поверхностью соответственно. Когда расстояние между двумя отражающими поверхностями находится в диапазоне интерференции, будет сформирован ИФП. Интенсивность отражения ИФП (R_{FPI}) определяется R_{FBG} и R_{F}, а также расстоянием d между двумя отражающими поверхностями и коэффициентом преломления волокна n:

$$R_{\mathrm{FPI}} = \frac{R_F + R_{\mathrm{FBG}} + 2\sqrt{R_F R_{\mathrm{FBG}}}\cos\phi}{1 + R_F R_{\mathrm{FBG}} + 2\sqrt{R_F R_{\mathrm{FBG}}}\cos\phi}, \quad \phi = \frac{4\pi n d}{\lambda}, \tag{1}$$

где ϕ – фаза, образованная прохождением света в ИФП. Свободный спектральный диапазон FSR ИФП равен:

$$\mathrm{FSR} = \frac{\lambda^2}{2nd}. \tag{2}$$

Для построения ВОДО (рис. 2) будем использовать два ИФП, представленных на рис. 1 с разными базами: опорный с d_1 и измерительный с d_2 [4].

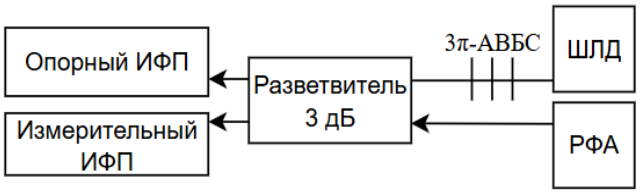


Рис. 2. Структурная схема ВОДО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Junfeng Ge et al. Atmospheric icing measurement and online ice type recognition for aircraft utilizing optical fiber sensor and machine learning algorithms // Measurement. - 2022. - Vol. 205. - P. 112215.

2. Jun Hua, Hugh H.T. Liu. Fluid flow and thermodynamic analysis of a wing anti-icing system // Canadian Aeronautics and Space Journal. - 2005. - Vol. 51(1). - P. 35-40.

3. Agliullin T.A., Sakhabutdinov A.Z., Nureev I.I. et al. Overview of addressed fiber Bragg structures' development // Photonics. - 2023. - Vol. 10. - P. 175.

4. Смирнов, Н. Д. Компьютерная модель волоконно-оптического датчика температуры на эффекте фазового сдвига / Н. Д. Смирнов, К. А. Липатников // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023 : Материалы X Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 13–15 апреля 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 337-338. – EDN EUTVHE.

PARALLEL END FABRY-PEROT INTERFEROMETERS FOR ICING MONITORING WITH MICROWAVE PHOTONIC INTERROGATION

L. D. Ibragimov, I. I. Nureev, E. V. Belov,
V. I. Artem'ev, O. G. Morozov, N. A. Petrov
([1]Kazan Instrument-Making Design Bureau, 420061, Kazan, Siberian Tract Street, 1,
[2]A.N. Tupolev Kazan National Research Technical University-KAI, 420111, Kazan, Karl Marx Street, 10)

The report presents a new icing sensor based on parallel end Fabry-Perot interferometers with radio-photonic interrogation formed in two single-mode optical fibers, each of which uses an ultrashort low-reflecting fiber Bragg grating and an orthogonal fiber cleavage characterized by Fresnel reflection as mirrors.

УДК 621.383

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ С РАДИОФОТОННЫМ ОПРОСОМ (Математическая часть)

[1]Ибрагимов Л. Д., [2]Нуреев И. И., [2]Белов Э. В., [2]Артемьев В. И., [2]Морозов О. Г., [2]Петров Н. А.

([1]Казанское приборостроительное конструкторское бюро, [2]Казанский национальный исследовательский технический унивеситет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Высокую чувствительность измерений обеспечивает спектральная характеристика сенсора, формируемая эффектом Вернье при взаимодействии двух интерферометров, имеющих различную измерительную базу.

Согласно закону, отражение Френеля происходит на торце хорошо сколотого волокна из-за разницы показателей преломления сердцевины волокна n и типом обледенения n_2. Коэффициент отражения Френеля (R_F) определяется как:

$$R_F = \left(\frac{n - n_2}{n + n_2} \right)^2 . \quad (1)$$

УК ВБР, образованная периодической модуляцией n сердцевины оптического волокна, является оптическим отражающим устройством. Она может отражать часть света на определенной длине волны, соответствующей условию Брэгга, попадающей в выходной порт разветвителя (3 дБ). Отражательная способность УК ВБР (R_{FBG}) на разных длинах волн определяется коэффициентом связи мод κ и длиной решетки L:

$$R_{FBG} = \left| \frac{-\kappa \sinh(SL)}{\Delta\beta \sinh(SL) + iS \cosh(SL)} \right|^2 , \quad S^2 = \kappa^2 - \Delta\beta^2 , \quad (2)$$

где $\kappa = (\pi \Delta n)/\lambda$, Δn – средняя глубина модуляции n, коэффициент распространения $\beta = (2\pi n_{eff})/\lambda$, $\Delta\beta = \beta - \beta_0 = \beta - \pi/\Lambda$, n_{eff} – эффективный показатель преломления моды сердцевины волокна, Λ − период решетки, а λ − длина волны[4]. Перейдя от (1) и (2) к (3) получим отклик ВОДО.

При параллельном соединении обоих ИФП возникает эффект Вернье с коэффициентом увеличения чувствительности по показателю преломления обледенения (М-фактор). Эта величина устанавливает сравнение между огибающей Вернье (ENV) и интерференционным сигналом от измерительного ИФП [4]:

$$M = \frac{\mathrm{FSR}_{\mathrm{ENV}}}{\mathrm{FSR}_2} = \frac{\mathrm{FSR}_1}{\mathrm{FSR}_2 - \mathrm{FSR}_1} = \frac{d_2}{\delta}, \quad (3)$$

где δ − разность размеров кювет двух ИФП.

При оценке по коэффициенту Вернье для радиофотонного опроса использовалась адресная волоконная брэгговская структура 3π-АВБС. Для контроля температуры измерительного ИФП перед ним в волокне может быть

записана 2λ-АВБС, что позволит опрашивать ИФП в целом с помощью радиофотонного анализатора (РФА), по ситуационной спектрограмме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Junfeng Ge et al. Atmospheric icing measurement and online ice type recognition for aircraft utilizing optical fiber sensor and machine learning algorithms // Measurement. - 2022. - Vol. 205. - P. 112215.

2. Jun Hua, Hugh H.T. Liu. Fluid flow and thermodynamic analysis of a wing anti-icing system // Canadian Aeronautics and Space Journal. - 2005. - Vol. 51(1). - P. 35-40.

3. Agliullin T.A., Sakhabutdinov A.Z., Nureev I.I. et al. Overview of addressed fiber Bragg structures' development // Photonics. - 2023. - Vol. 10. - P. 175.

4. Смирнов, Н. Д. Компьютерная модель волоконно-оптического датчика температуры на эффекте фазового сдвига / Н. Д. Смирнов, К. А. Липатников // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023 : Материалы X Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 13–15 апреля 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 337-338. – EDN EUTVHE.

FABRY-PEROT PARALLEL INTERFEROMETERS FOR IMMEDIATE IMMERSION CONTROL WITH RADIO-PHOTON QUESTIONING (Mathematical part)

L. D. Ibragimov, I. I. Nureev, E. V. Belov,
V. I. Artem'ev, O. G. Morozov, N. A. Petrov
([1]Kazan Instrument-Making Design Bureau, 420061, Kazan, Siberian Tract Street, 1,
[2]A.N. Tupolev Kazan National Research Technical University-KAI, 420111, Kazan, Karl Marx Street, 10)

The high sensitivity of the measurements is provided by the spectral characteristic of the sensor, which is formed by the Vernier effect when two interferometers with different measurement bases interact.

УДК 681.586.54

МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО МНОГОВОЛОКОННОГО СЕНСОРА

[1,2]Губарева О.Ю., [1]Дашков М.В., [3]Картак В.М., [1]Макаров И.С., [4]Гуреев В.О., [1]Евтушенко А.С.

([1]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики; [2]АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»; [3]Уфимский университет науки и технологий; [4]ООО «Дж.Т.И. Россия»)

В современных системах безопасности, идентификация персонала и обнаружение нарушителей являются критически важными задачами. Одним из перспективных направлений является применение волоконно-оптических акустических датчиков [1, 2], которые обеспечивают распределенный мониторинг с высоким разрешением, устойчивостью к электромагнитным помехам и скрытностью. Настоящее исследование посвящено разработке методов обработки и анализа сигналов, полученных с использованием волоконно-оптического фазочувствительного рефлектометра, для распознавания речевых сигналов в условиях сильного шумового воздействия. Одной из ключевых сложностей является наличие как аддитивных, так и мультипликативных шумовых искажений, которые неизбежно присутствуют в реальных условиях эксплуатации.

Эксперименты проводились на полигоне ПГУТИ с использованием оптического модуля, содержащего 12 последовательно соединенных оптических волокон (ОВ), что позволило одновременно регистрировать сигналы в идентичных условиях. Для подавления шумов был применен метод усреднения откликов с нескольких ОВ. Для распознавания речи была разработана нейронная сеть на базе TensorFlow/Keras. В качестве входных данных использовались отклики рефлектометра, представляющие собой амплитудные спектры односекундных фрагментов, полученных после быстрого преобразования Фурье и субдискретизации слоями MaxPooling1D/AveragePooling1D. Оптимизатор Adam и функция потерь Sparse Categorical Cross-Entropy использовались для обучения нейронной сети, которое проводилось на различных наборах данных, отличающихся наличием/отсутствием предварительной фильтрации и количеством усредняемых откликов (4/8 волокон).

Наилучшие результаты распознавания были получены при использовании нейронной сети, обученной на предварительно фильтрованных данных с усреднением по 4-8 ОВ. Увеличение количества волокон без фильтрации привело к снижению качества распознавания. Полученные результаты демонстрируют, что сочетание предварительной фильтрации и усреднения позволяет существенно повысить точность распознавания речевых сигналов, зарегистрированных волоконно-оптическим фазочувствительным рефлектометром. Сравнение показателей точности с различными наборами данных представлено на рисунке 1.

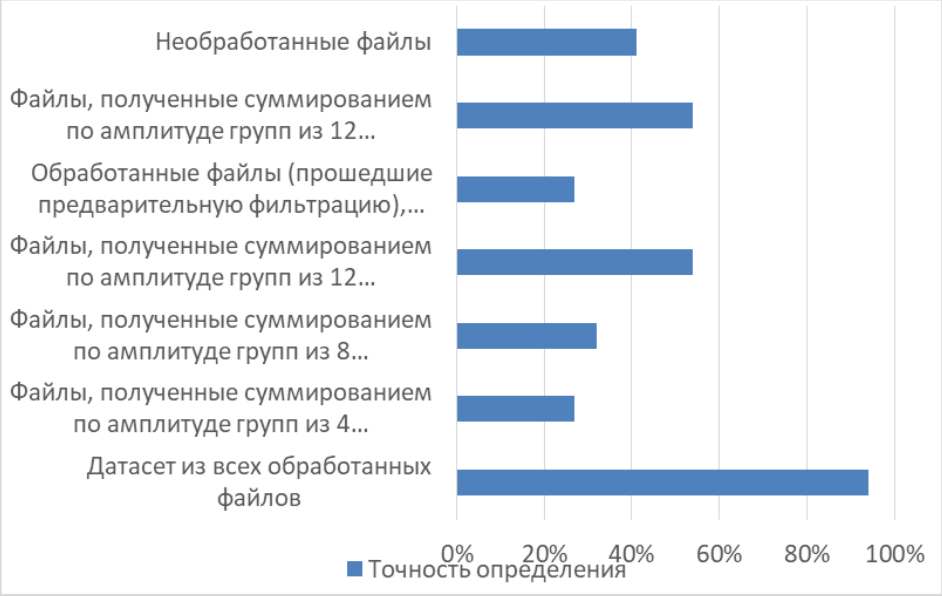


Рис. 1. Сравнение показателей точности с различными наборами данных

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shang Y. et al. Speech signal enhancement based on deep learning in distributed acoustic sensing // Optics Express. 2023. Vol. 31, no. 3. P. 4067.

2. Gritsenko T.V. et al. Detection and Recognition of Voice Commands by a Distributed Acoustic Sensor Based on Phase-Sensitive OTDR in the Smart Home Concept // Sensors. 2024. Vol. 24, no. 7. P. 2281.

METHOD FOR RECOGNITION OF SPEECH SIGNALS RECORDED USING A DISTRIBUTED MULTIFIBER SENSOR

[1,2]Gubareva O.Yu., [1]Dashkov M.V., [3]Kartak V.M., [1]Makarov I.S., [4]Gureev V.O., [1]Evtushenko A.S.

([1]Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, [2]Joint Stock Company "Samara innovative business radio systems", [3]Ufa University of Science and Technology, [4]JTI Russia)

This paper describes the method proposed by the authors for recognizing speech signals obtained from a distributed fiber-optic acoustic sensor, as well as an algorithm for the preliminary processing of signals from optical fibers housed within a single sensor cable. The results of speech-signal identification using neural-network technologies are presented.

УДК 681.7.068

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

[1,2,3]Бурдин А.В., [2]Евтушенко А.С., [3]Нестеров В.Г., [3]Орлов М.А., [1,3]Беляев А.А., [1]Шурупов Д.Н., [1]Пашин С.С., [3]Белов М.С., [3]Соколов В.Е., [2]Дашков М.В., [1]Демидов В.В., [1]Тер-Нерсесянц Е.В., [1,3]Дукельский К.В., [1]Полищук Г.С.

([1]АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

В работе представлены результаты отдельных этапов разработки (от моделирования до изготовления опытных образцов) и тестирования параметров передачи кварцевых микроструктурированных оптических волокон (МСОВ), ориентированных на применение в качестве направляющих систем линий связи компактных оптических сетей SWDM. На основании результатов предварительного моделирования [1], с учетом масштабирования на искомый внешний диаметр 125 мкм и особенностей технологического процесса “Stack-and-Draw”, была определена базовая конфигурация МСОВ и локализованы технологические допуски на отклонения от искомых значений геометрических параметров.

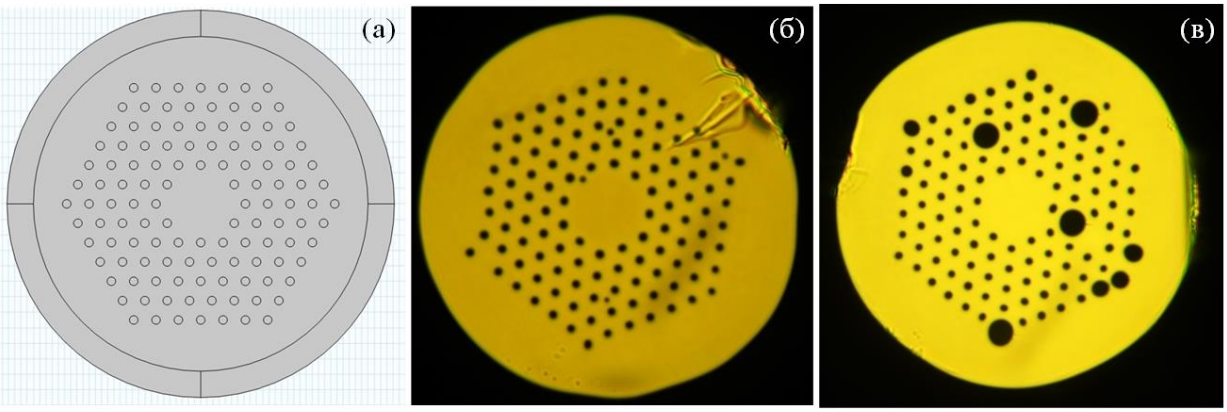


Рис. 1. Моделирование и фабрикация МСОВ: (а) модель; (б) первая группа опытных образцов; (в) вторая группа опытных образцов

Структура предлагаемого МСОВ является «классической» (Рис. 1(а)), включает в себя 5 циклов воздушных отверстий (всего 116) диаметром 2.4...2.5 мкм, размещенных по типовой гексагональной схеме вокруг центральной световедущей области («сердцевины») при внешнем диаметре МСОВ 125 мкм. Полученные значения параметров и допусков на них рассматривались как опорные значения и далее использовались непосредственно при изготовлении двух групп опытных образцов МСОВ описанной конфигурации длиной по 100 м (Рис. 1(б), (в)). Здесь основной акцент работ был сделан на отработку технологических режимов, поэтому использовались дешевые и доступные

опорные элементы, а для снижения трудозатрат исключена часть технологических операций. Тем не менее, для отдельных образцов удалость достичь потери менее 10 дБ/км в искомом диапазоне длин волн 800…1000 нм (Рис. 2(б)), и провести ряд экспериментальных и теоретических исследований (Рис. 2(а), (в)), отдельные результаты которых представлены в данной работе.

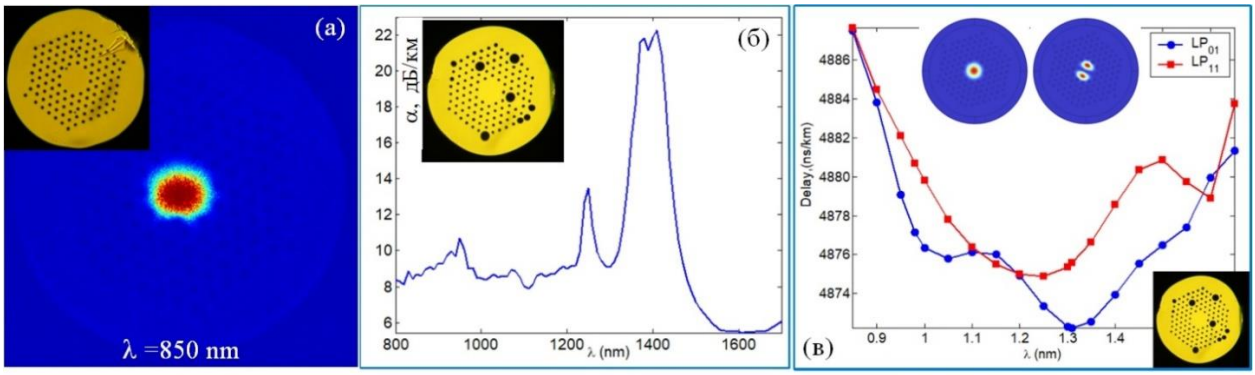


Рис. 2. Исследование опытных образцов МСОВ: (а) первая группа – измерение профиля пучка лазера; (б) и (в) вторая группа – (б) измеренная спектральная характеристика коэффициента затухания; (в) расчетная спектральная характеристика модовых задержек основной LP_{01} и высшей LP_{11} мод

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-29-00881).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдин А.В. и др. Разработка и тестирование кварцевых микроструктурированных оптических волокон для линий связи компактных высокоскоростных сетей передачи данных разного назначения // Труды 10-й Всероссийской Диановской конференции по волоконной оптике, Пермь. 2026. С. 90 – 93.

DESIGN AND INVESTIGATION OF SILICA MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS WITH HEXAGONAL CONFIGURATION

[1,2,3]Bourdine A.V., [2]Evtushenko A.S., [3]Nesterov V.G., [3]Orlov M.A., [1,3]Belyaev A.A., [1]Shurupov D.N., [1]Pashin S.S., [3]Belov M.S., [3]Sokolov V.E., [2]Dashkov M.V., [1]Demidov V.V., [1]Ter-Nersesyants E.V., [1,3]Dukelskii K.V., [1]Polishchuk G.S

([1]JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Saint Petersburg State University of Telecommunications named after M.A. Bonch-Bruevich)

This work presents results of design, mode analysis and investigation of fabricated two series of pilot samples of silica microstructured optical fibers with hexagonal configuration and “telecommunication” outer diameter 125 μm, which are targeted for short-range optical networks, utilized SWDM-technology.

УДК 681.7.068

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ МОНТАЖА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ С МНОГОМОДОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНОМ

[1,2,3]Бурдин А.В., [3]Нестеров В.Г., [3]Орлов М.А., [2]Евтушенко А.С., [1,3]Беляев А.А., [1]Шурупов Д.Н., [1]Пашин С.С., [1]Демидов В.В., [1]Тер-Нерсесянц Е.В., [3]Былина М.С., [1,3]Дукельский К.В., [1]Полищук Г.С.

([1]АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

Работа посвящена экспериментальным исследованиям потенциальнойвозможности реализации сварного соединения с адекватными вносимыми потерями на стыке между телекоммуникационными многомодовыми оптическими волокнами (ММ ОВ) 50/125 с градиентным профилем показателя преломления (кат. ISO/IEC OM2+/OM3) и кварцевого микроструктурированного оптического волокна (МСОВ). Последние характеризуются типовой гексагональной 2D-периодической конфигурацией 5 циклов размещения воздушных отверстий в поперечном сечении МСОВ и внешним «телекоммуникационным» диаметром 125 мкм (Рис. 1(а)) [1]. Процесс сращивания осуществлялся с применением штатного комплекта полевого сварочного аппарата Fujikura-36S.

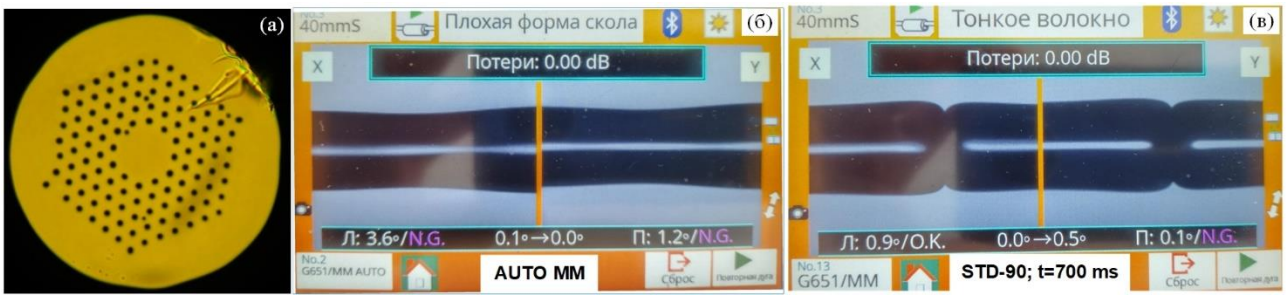


Рис. 1. Сварные соединения МСОВ и ММ ОВ: (а) торец опытного образца МСОВ; (б) сварка МСОВ и ММ ОВ в режиме «ММ AUTO»; (в) сварка МСОВ и ММ ОВ с коррекцией параметров (ток дуги уменьшен на 90 у.е., время сварки – 700 мс).

Измерение вносимых потерь на сварных соединениях осуществлялось с помощью оптического рефлектометра обратного рассеяния во временной области (OTDR) EXFO AXS-110 на длине волны λ=1310 нм. Для корректной оценки суммарного затухания, которое включало в себя потери на двух сварных соединениях и собственное затухание отрезка МСОВ длиной около 2 м, исследуемый образец МСОВ вваривался между двумя катушками ММ ОВ длиной по ~1 км каждая. Эти катушки, в свою очередь, подключались уже также

с помощью сварочного аппарата к пигтелированным катушкам со стандартным одномодовым ОВ (рек. ITU-T G.652). На первом этапе оба соединения «МСОВ – ММ ОВ» выполнялись в режиме «ММ AUTO» на предустановленных «по умолчанию» параметрах (ток дуги, время подачи дуги) программы сварки (Рис. 1(б)). Эти предварительно измеренные значения итоговых вносимых потерь использовались в качестве опорных. В ходе последующих испытаний (всего более 50 циклов) одно из соединений перемонтировалось с соответствующей заданной коррекцией указанных выше параметров программы сварки (Рис. 1(в)).

Результаты измерения вносимых потерь на стыках МСОВ и ММ ОВ продемонстрировали приемлемые значения даже при монтаже в режиме «ММ AUTO»: здесь во всех случаях они не превысили 7.0 дБ. При этом установка локализованных в процессе серии экспериментальных исследований оптимальных параметров программы сварки (ток дуги STD-30 у.е. при времени сварки 1100 мс), обеспечивающих минимальное коллапсирование воздушных отверстий при выполнении стыка без дефекта, позволяет снизить итоговые потери практически на 0.8…1.0 дБ и более относительно опорного.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-29-00881).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдин А.В. и др. Результаты моделирования кварцевых микроструктурированных оптических волокон, обеспечивающих одномодовый режим функционирования в области коротких длин волн // Труды 10-й Всероссийской Диановской конференции по волоконной оптике, Пермь. 2026. С. 669 – 671.

DEVELOPMENT AND TESTING OF TECHNOLOGICAL METHODS FOR THE FUSION SPLICING OF SILICA MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBER WITH A HEXAGONAL CONFIGURATION AND MULTIMODE OPTICAL FIBER

[1,2,3]Bourdine A.V., [3]Nesterov V.G., [3]Orlov M.A., [2]Evtushenko A.S., [1,3]Belyaev A.A., [1]Shurupov D.N., [1]Pashin S.S., [1]Demidov V.V., [1]Ter-Nersesyants E.V.,[3]Bylina M.S., [1,3]Dukelskii K.V., [1]Polishchuk G.S

([1]JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Saint Petersburg State University of Telecommunications named after M.A. Bonch-Bruevich)

This work presents results of experimental testing of feasibility of jointing silica microstructured optical fiber with hexagonal configuration and outer “telecommunication” diameter 125 μm and graded-index multimode optical fiber 50/125 by commercially available arc fusion splicer.

УДК 681.7.068

УЛЬТРАТОНКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА С СОХРАНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ

[1,2,3]Бурдин А.В., [1,3]Беляев А.А., [1]Буреев С.И., [1]Демидов В.В., [1,3]Дукельский К.В., [1]Кашин А.И.,[1]Тер-Нерсесянц Е.В., [1]Хохлов А.В., [1]Шурупов Д.Н., [1]Полищук Г.С.
([1]АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

На сегодняшний день оптические волокна (ОВ) с сохранением состояния поляризации (Polarization-Maintaining Fibers – PMFs) широко востребованы в отрасли оптического приборостроения и активно применяются в таких практических приложениях, как системы интерферометрии, оптической когерентной томографии, удаленного зондирования (лидары, анемометры, велосиметры и пр.), сенсорные системы, когерентная оптическая связь и квантовые коммуникации, а также волоконные лазеры и усилители. Эти волокна особо актуальны и, фактически, являются базовым элементом для волоконно-оптических гироскопов – «сердца» навигационных систем различного назначения.

Очевидно, что габарит прибора, в общем случае, также непосредственно зависит от размеров оправки, на которые нанесены витки PMF. Соответственно, компактные решения требуют применения малогабаритных оправок нередко с экстремально малым диаметром. При этом основная проблема «компактирования» кварцевых ОВ в корпуса оптоэлектронных приборов связана не столько с сильным увеличением потерь на изгиб, сколько с разрушением кварцевого волокна в условиях механического напряжения. Именно по этой причине «упаковка» оптических волокон PMF для корпуса прибора (что предполагает продолжительный срок эксплуатации) осуществляется в условиях жесткого допуска на радиус изгиба – в 150 раз больше внешнего диаметра по оболочке.

Сегодня к типовым диаметрам «классических» PMF относятся габариты 125 мкм и 80 мкм. Это означает, что они могут быть «корпусированы» в оправки диаметром до 38 и 24 мм, соответственно. Очевидным решением задачи миниатюризации является переход к еще более тонким PMF. Например, уменьшение внешнего диаметра PMF до 40 мкм позволит «компактировать» катушку гироскопа уже до внутреннего диметра 12 мм.

В настоящее время практически все топовые мировые производители телекоммуникационных и специальных кварцевых ОВ осуществляют серийное производство волокон PMF со штатными внешними диаметрами по оболочке 125 мкм и 80 мкм. В то же время, рынок ультратонких PMF волокон со штатным диаметром по оболочке 40 мкм представлен всего двумя производителями: Exail (Франция) IXF-PMG-820-40-HNA и YOEC (Китай) PM13G-40-U08 / PM15G-50-U08. АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова» предлагает альтернативную версию

таких ультратонких кварцевых PMF волокон с диаметром 40 мкм в конфигурации «tiger» – с эллиптической напрягающей оболочкой. Эта продуктовая линейка включает в себя 2 позиции – PMF40-810 и PMF40-1310, ориентированных на функционирование в области коротких волн 800 – 1100 нм и длинных волн 1100 – 1650 нм, соответственно.

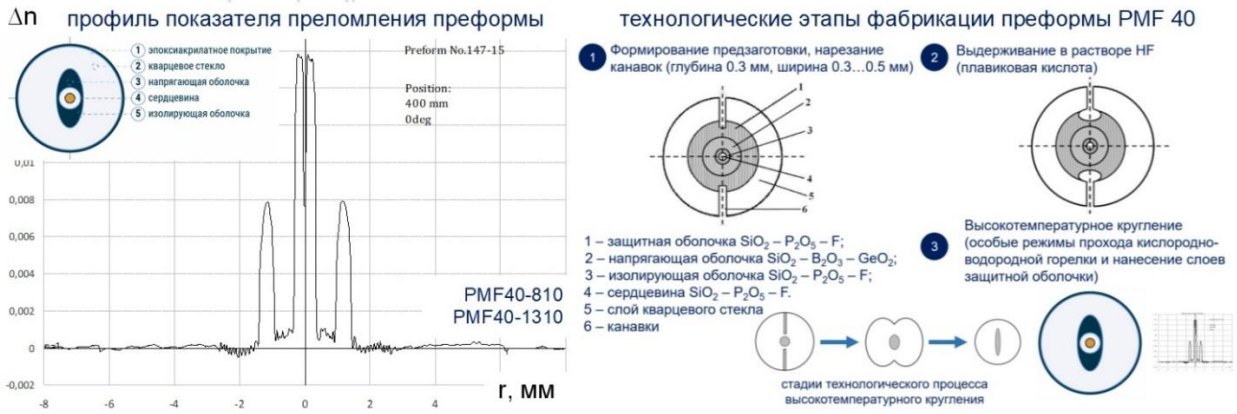


Рис. 1. Ультратонкое PMF с внешним диаметром 40 мкм

В докладе рассмотрены ключевые технологические аспекты разработанных и верифицированных оригинальных авторских решений реализации этапов фабрикации преформы (Рис. 1), на базе которых предприятием было успешно освоено промышленное производство таких PMF [1]. Приводится сопоставление базовых параметров передачи с данными спецификаций известных решений, которое демонстрирует, как минимум, соответствие характеристикам мировых аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bureev S.V., Dukel'skiĭ K.V., Eron'yan M.A., Zlobin P.A., Komarov A.V., Levit L.G., Strakhov V.I., Khokhlov A.V. Processing large blanks of anisotropic single-mode lightguides with elliptical cladding // Journal of Optical Technology. 2007. vol. 74(4). P. 85 – 87.

ULTRATHIN POLARIZATION-MAINTAINING OPTICAL FIBERS

[1,2,3]Bourdine A.V., [1,3]Belyaev A.A., [1]Bureev S.V., [1]Demidov V.V., [1,3]Dukelskii K.V., [1]Kashin A.I., [1]Ter-Nersesyants E.V., [1]Khokhlov A.V., [1]Shurupov D.N., [1]Polishchuk G.S

([1]JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Saint Petersburg State University of Telecommunications named after M.A. Bonch-Bruevich)

This work is concerned with technological issues of fabrication the ultrathin polarization-maintaining optical fibers (PMFs) with extremely reduced outer cladding dimeter down to 40 μm.

УДК 681.7.068

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ОТКЛИКОВ ЛОКАЛЬНОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОДНОМОДОВОЕ И 5-МОДОВОЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА

[1,2,3]Бурдин А.В., [4]Толен Г.Б., [5]Бенгальский Д.М., [5]Пономаренко Д.М., [1]Тер-Нерсесянц Е.В., [5]Филютич А.Ю., [1]Шурупов Д.Н., [1,3]Беляев А.А., [3,5]Исаенко Д.И., [3]Михель Г.А., [3]Слепогин А.Ю., [4]Абдыкадыров А.А., [3]Былина М.С, [1]Демидов В.В., [1,3]Дукельский К.В., [1]Полищук Г.С.

([1]АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, [4]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», [5]ООО «Т8» / ООО «Т8 Сенсор»)

В работе представлены результаты сопоставления серии измерений откликов локального низкочастотного вибро-акустического воздействия на маломодовое оптического волокно (FMF) с сильно возмущённым квазиступенчатым профилем показателем преломления и стандартное одномодовое оптическое волокно (SMF) рек. ITU-T G.652, выполненные с помощью аппаратно-программного комплекса системы распределенного акустического сенсора (DAS) Дунай ООО «Т8 Сенсор».

Тестировалось ранее изготовленное кварцевое FMF с диаметром сердцевины 21.2 мкм и типовой внешней «телекоммуникационной» оболочкой 125±2 мкм. Согласно проведенному модифицированным методом приближения Гаусса [1] модовому анализу исследуемого FMF 21/125, на длине волны λ=1550 нм условию отсечки удовлетворяет 5 мод. В процессе фабрикации заготовки FMF методом MCVD при формировании квазиступенчатого профиля показателя преломления сердцевины были внесены возмущения: разброс значений показателя преломления между соседними слоями GeO_2 достигал до 0.005 и более, которые после вытяжки ОВ уменьшились до 0.003. Результирующая высота профиля показателя преломления изготовленного FMF 21/25 составила Δn=0.0085 при числовой апертуре NA=0.13 (Рис. 1(а)).

Эксперимент проводился в лабораторных условиях. Для этой цели было смонтировано две макетных волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП). Первая собрана из двух образцов длин (катушек) тестируемого FMF 21/125 по 500 м каждая, соединенных с помощью полевого аппарата для сварки ОВ. Общая протяженность ВОЛП-FMF составила около 1 км. В непосредственной близости от сварного соединения порядка 10 м ОВ одной из длин FMF было намотано на пьезоэлектрический элемент (PZT) для имитации локального виброакустического воздействия.

Опорная ВОЛП общей протяженностью 2 км собрана из двух контейнеров с SMF длиной по 1 км каждая. ОВ контейнеров пигтелированы SMF LC/APC с обеих сторон. Между катушками через проходную оптическую розетку LC/APC

был включен патчкорд SMF LC/APC с диаметром защитного покрытия 900 мкм и длиной 10 м, который был также намотан на PZT, управляемый генератором UNI-T UTG2025A.

Результаты сопоставления пикострейнов, измеренных при одночастотных вибро-акустических воздействиях (10 (Рис. 1(б), (в)), 30 и 150 Гц), частично подтверждают гипотезу, что сильно возмущенная стеклянная матрица волоконного световода является более чувствительной: соотношение максимумов для FMF и стандартного одномодового ОВ отличается, как минимум, на 8%.

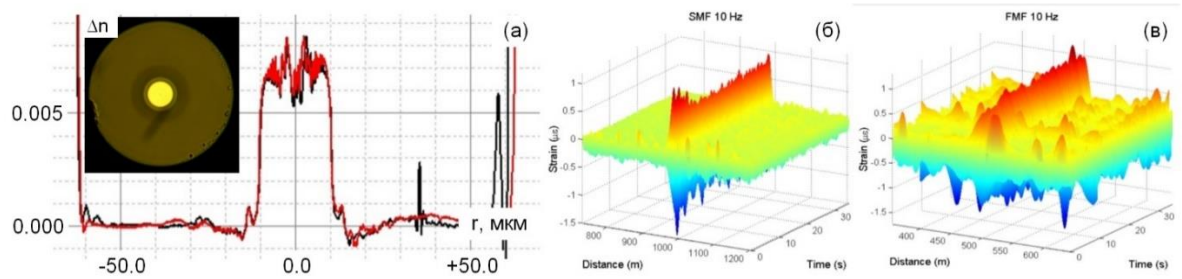


Рис. 1. Результаты измерения пикострейнов: (а) профиль показателя преломления и торец опытного образца тестируемого FMF 21/25; (б) и (в) примеры зарегистрированных откликов DAS локального низкочастотного (10 Гц) виброакустического воздействия – (б) SMF, (в) FMF

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bourdine A. V. Modeling and simulation of piecewise regular multimode fiber links operating in a few-mode regime // Advances in Optical Technologies. Vol. 2013. 2013. P. 469389-1 – 469389-18.

RESULTS OF COMPARISON THE RESPONSES TO LOCAL LOW-FREQUENCY VIBROACOUSTIC INFLUENCE IN SINGLEMODE AND 5-MODE OPTICAL FIBERS

[1,2,3]Bourdine A.V., [4]Tolen G.B., [5]Bengalskii D.M., [5]Ponomarenko D.M., [1]Ter-Nersesyants E.V., [5]Filyutich E.A., [1]Shurupov D.N., [1,3]Belyaev A.A., [1,5]Isaenko D.I., [3]Mikhel G.A., [3]Slepogin A.Yu., [4]Abdykadyrov A.A., [3]Bylina M.S., [1]Demidov V.V., [1,3]Dukelskii K.V., [1]Polishchuk G.S

([1]JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Saint Petersburg State University of Telecommunications named after M.A. Bonch-Bruevich, [4]Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbayev, [5]T8 LLC / T8 Sensor Ltd.)

This work presents results of measurement series, performed by commercially available distributed acoustic sensing (DAS) system “Dunay” for silica 5-mode optical fiber (FMF) 21/125 under local single low-frequency vibro-acoustic influence with following comparison to detected reference responses of standard singlemode optical fiber (ITU-T Rec. G.652) under the same impact conditions and the same DAS system.

УДК 681.7.068

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ НА ИЗГИБ КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

[1,2,3]Бурдин А.В., [3]Нестеров В.Г., [3]Орлов М.А., [2]Евтушенко А.С., [1,3]Беляев А.А., [1]Шурупов Д.Н., [1]Пашин С.С., [1]Демидов В.В., [1]Тер-Нерсесянц Е.В., [3]Былина М.С., [1,3]Дукельский К.В., [1]Полищук Г.С.

([1]АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

В работе представлены результаты экспериментальных исследований приращения потерь на изгиб раннее изготовленного методом «Stack-and-Draw» опытного образца кварцевого микроструктурированного оптического волокна (МСОВ) с «традиционной» гексагональной конфигурацией (Рис. 1) [1]: 5 циклов воздушных отверстий (всего 116) диаметром 2.5±0.4 мкм, размещенных по типовой гексагональной схеме с шагом Λ=7.15±0.5 мкм вокруг центральной световедущей области («сердцевины») с габаритами (26.5 х 22.5)±0.5 мкм при внешнем диаметре МСОВ 125±3 мкм.

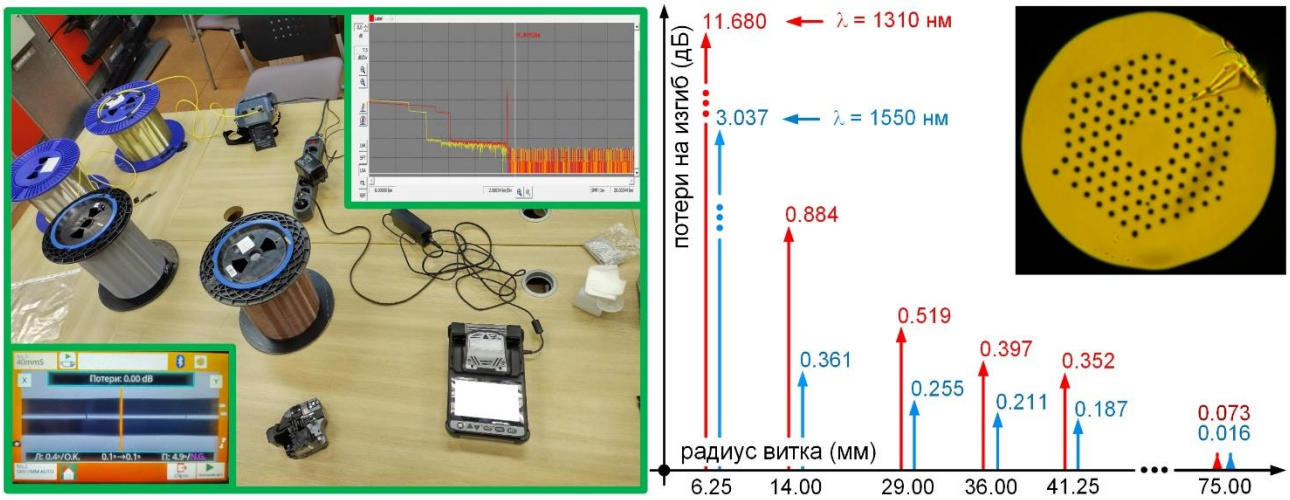


Рис. 1. Исследование потерь на изгиб МСОВ гексагональной конфигурации: тестируемое МСОВ, экспериментальная установка и результаты измерений

Контроль изменения изгибных потерь осуществлялся методом обратного рассеяния с помощью оптического рефлектометра (OTDR) EXFO AXS-110 на длинах волн λ=1310 и 1550 нм. Поскольку тестировался короткий (не более 2 м) отрезок МСОВ – виток волокна наносился на оправку примерно в середине длины отрезка – для адекватной оценки изменения итоговых вносимых потерь по рефлектограмме (две сварки, собственное затухание МСОВ и потери на изгиб), образец МСОВ вваривался между двумя катушками с многомодовыми оптическими волокнами (ОВ) кат. ISO/IEC OM2+/OM3 длиной по ~1 км каждая,

которые, в свою очередь, были соединены с пигтелированными катушками со стандартными одномодовыми ОВ (рек. ITU-T G.652). Соединение волокон осуществлялось с помощью штатного комплекта полевого сварочного аппарата Fujikura-36S в режиме «MM AUTO».

Первое полученное значение итоговых вносимых потерь для расправленного прямолинейного отрезка МСОВ рассматривалось как опорное. Далее на оправку соответствующего диаметра наносился одиночный виток тестируемого МСОВ, проводилось измерение характеристики обратного рассеяния и регистрировалось значение изменение итого затухания за счет потерь на изгиб (Рис. 1).

Были использованы оправки, обеспечивающие следующие значения радиуса изгиба: 75.00, 41.25, 36.00, 29.00, 14.00 и 6.25 мм. Как и прогнозировалось, МСОВ оказалось существенно более чувствительным к изгибам, по сравнению со стандартными одномодовыми ОВ рек. ITU-T G.652, для длины волны λ=1310 нм. Здесь, в частности, при диаметре оправки 28 мм потери на изгиб составили 0.884 дБ, а при последующем его уменьшении до 12.5 мм – достигли неприемлемо высокого значения 11.680 дБ. При этом на оптической несущей λ=1550 нм результаты оказались существенно ниже – 0.361 и 3.037 дБ для указанных выше минимальных диаметров оправок 28 и 12.5 мм, соответственно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-29-00881).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдин А.В. и др. Разработка и тестирование кварцевых микроструктурированных оптических волокон для линий связи компактных высокоскоростных сетей передачи данных разного назначения // Труды 10-й Всероссийской Диановской конференции по волоконной оптике, Пермь. 2026. С. 90 – 93.

INVESTIGATION OF BENDING LOSS OF SILICA MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBER WITH A HEXAGONAL CONFIGURATION

[1,2,3]Bourdine A.V., [3]Nesterov V.G., [3]Orlov M.A., [2]Evtushenko A.S., [1,3]Belyaev A.A., [1]Shurupov D.N., [1]Pashin S.S., [1]Demidov V.V., [1]Ter-Nersesyants E.V.,[3]Bylina M.S., [1,3]Dukelskii K.V., [1]Polishchuk G.S

([1]JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Saint Petersburg State University of Telecommunications named after M.A. Bonch-Bruevich)

This work presents results of experimental measurements bending loss of silica microstructured optical fiber with hexagonal configuration and outer “telecommunication” diameter 125 μm.

УДК 537.876.4

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ОСНОВНОЙ МОДЫ ПРИ ЧАСТИЧНОМ И ПОЛНОМ ВЫТРАВЛИВАНИИ ОБОЛОЧКИ

Альхуссейн А.Н.Д., Сахабутдинов А.Ж.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Получение теоретической зависимости величины эффективного показателя преломления n_{eff} для основной моды от показателя преломления внешней среды требует решения трансцендентного дисперсионного уравнения. При этом случаи частичного ($a < b < b_0$, Рис. 1а) и полного ($b = a$, Рис. 1б) вытравливания оболочки качественно различаются и требуют решения разных дисперсионных уравнений.

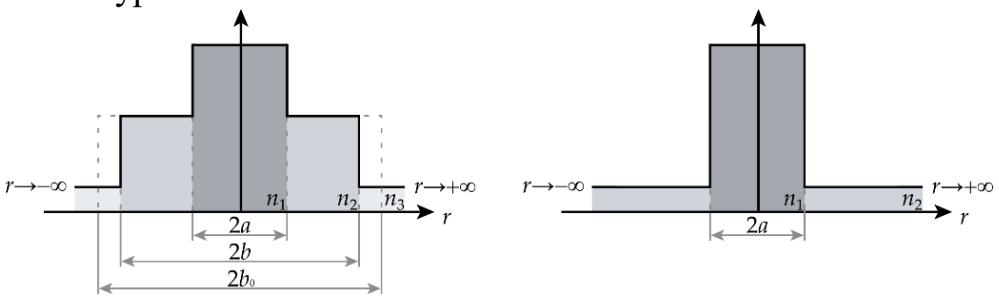


Рис. 1. Радиальный профиль показателя преломления оптического волокна с: а) частично и б) полностью вытравленной оболочкой

В первом случае необходимо использовать дисперсионное уравнение для оптического волокна с двумя оболочками (профилем типа W), в предположении, что вторая оболочка соответствует внешней среде. Учитывая, что для стандартных телекоммуникационных волокон показатель преломления сердцевины и оболочки отличаются слабо $n_1/n_2 \approx 1$, используют упрощенный случай линейно-поляризованных мод [1]:

$$\frac{\left[\bar{J}_m(u)-\bar{Y}_m(u'\cdot\eta)\right]\left[\bar{K}_m(w)-\bar{J}_m(u')\right]}{\left[\bar{J}_m(u)-\bar{J}_m(u'\cdot\eta)\right]\left[\bar{K}_m(w)-\bar{Y}_m(u')\right]}=\frac{J_{m+1}(u'\cdot\eta)Y_{m+1}(u')}{J_{m+1}(u')Y_{m+1}(u'\cdot\eta)}, \qquad (6)$$

где

$$u=a\sqrt{\kappa_0^2 n_1^2-\beta^2},\ u'=b\sqrt{\kappa_0^2 n_2^2-\beta^2},\ w=b\sqrt{\beta^2-\kappa_0^2 n_3^2}\ ,$$

модовые параметры; a и b — радиусы сердцевины и оболочки; $\kappa_0 = 2\pi/\lambda$ — волновое число в вакууме; η — отношение диаметров сердцевины и оболочки; m — азимутальный порядок моды LP_{mn}. В уравнении (4) все величины с верхней чертой вычисляются по формуле:

$$\bar{V}_m(x)=\frac{V_m(x)}{x\cdot V_{m+1}(x)},$$

где функция $V_m(x)$ обозначает функцию Бесселя первого $J_m(x)$ или второго $Y_m(x)$ (Неймана) рода, модифицированную функцию Бесселя первого $I_m(x)$ (Инфельда) или второго $Z_m(x)$ (Макдональда) рода.

В случае, когда оболочка полностью вытравлена, можно принять, что $b = a$ и $n_2 = n_3$. Однако, показатели преломления сердцевины и внешней среды уже могут отличаться значительно $n_1/n_3 \ncong 1$, что не позволяет применить упрощенный случай линейно-поляризованных мод. Значение эффективного показателя преломления необходимо искать для HE_{mn} мод на основе решения дисперсионного уравнения оптического волокна с одной оболочкой [2]:

$$\left[\frac{J'_m(u)}{u\cdot J_m(u)}+\frac{K'_m(w)}{w\cdot K_m(w)}\right]\left[n_1^2\cdot\frac{J'_m(u)}{u\cdot J_m(u)}+n_2^2\cdot\frac{K'_m w}{w\cdot K_m(w)}\right]=\frac{\beta^2}{k_0^2}\cdot\left(\frac{1}{u^2}+\frac{1}{w^2}\right)^2\cdot m^2\,, \quad (7)$$

где

$$u=a\sqrt{\kappa_0^2 n_1^2-\beta^2}\,,\; w=a\sqrt{\beta^2-\kappa_0^2 n_2^2}\,.$$

Параметры u и w в уравнении (2) аналогичны соответствующим параметрам из уравнения (1) (в предположении, что показатель преломления оболочки равен показателю преломления внешней среды $n_2 = n_3$), а m является азимутальным порядком моды HE_{mn}.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева–КАИ («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Monerie, M. Propagation in Doubly Clad Single-Mode Fibers / M. Monerie // IEEE Trans. Microwave Theory Techn. – 1982. – Vol. 30. – Pp. 381–388. – DOI: 10.1109/TMTT.1982.1131079.

2. Okamoto, K. Fundamentals of Optical Waveguides: 2nd ed. / K. Okamoto. – Burlington: Elsevier Science, 2010. – 428 p. – ISBN: 978-0-08-045506-8.

EFFECTIVE REFRACTIVE INDEX OF THE FUNDAMENTAL MODE FOR PARTIALLY AND FULLY ETCHED CLADDING

Alhuseein A.N.D., Sakhabutdinov A.Zh.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The theoretical dependence of the fundamental mode's effective refractive index on the refractive index of the surrounding medium is obtained for optical fibers with partially and fully etched cladding. The two configurations require distinct transcendental dispersion equations.

УДК 537.876.4

АДРЕСНАЯ ВОЛОКОННАЯ БРЭГГОВСКАЯ СТРУКТУРА С ДВУМЯ ФАЗОВЫМИ П-СДВИГАМИ И УЧАСТКОМ С ВЫТРАВЛЕННОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Альхуссейн А.Н.Д., Сахабутдинов А.Ж.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Условие фазового синхронизма между прошедшей и отраженной волнами определяет параметры резонанса в структуре, формируемой за счет периодической модуляции показателя преломления в сердцевине оптического волокна — в классической волоконной решетке Брэгга [1]. Возникновение конструктивной интерференции непосредственно связано с величиной эффективного показателя преломления основной моды. При этом относительное изменение резонансной длины волны волоконной решетки Брэгга прямо пропорционально связано с относительным изменением эффективного показателя преломления, которое и приводит к данному сдвигу резонансной длины волны [2].

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \frac{\Delta n_{eff}}{n_{eff}}, \tag{8}$$

В выражении (1): $\Delta\lambda_B$ — изменение центральной длины волны волоконной решетки Брэгга, соответствующее изменению эффективного показателя преломления Δn_{eff}, λ_B и n_{eff} — их начальные значения.

Рассмотрим адресную волоконную брэгговскую структуру с двумя фазовыми π-сдвигами и вытравленным участком оболочки одного из сегментов, Рис. 1.

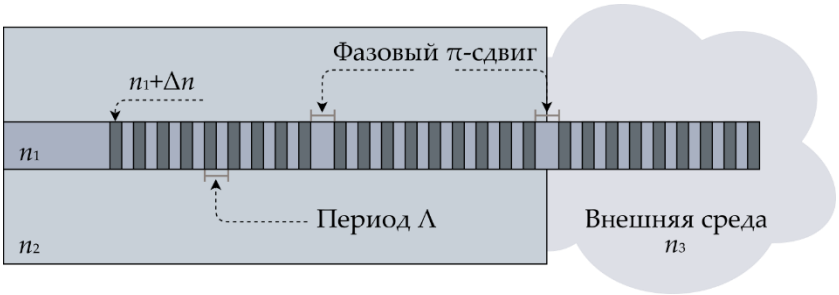


Рис. 1. Схематичное изображение симметричной адресной волоконной брэгговской структуры с двумя фазовыми π-сдвигами и участком с вытравленной оболочкой

Результирующая матрица передачи волоконной брэгговской решетки с двумя фазовыми сдвигами $\mathbf{T}^{\Sigma}$ можно представить в виде произведения трех матриц передачи однородных сегментов: трех волоконных брэгговских решеток $\mathbf{T}^{FBG}$ и двух матриц передачи диэлектрических сред $\mathbf{T}^{\varphi}$, соответствующих фазовым сдвигам:

$$\mathbf{T}^{\Sigma}(\lambda) = \mathbf{T}_1^{FBG} \times \mathbf{T}_1^{\varphi} \times \mathbf{T}_2^{FBG} \times \mathbf{T}_2^{\varphi} \times \mathbf{T}_3^{FBG}, \tag{9}$$

где

$$\mathbf{T}_k^{\mathrm{FBG}} = \mathbf{T}_k^{\mathrm{FBG}}\left(\lambda, L_k, \Lambda_k, \Delta n_k, n_{\mathrm{eff}k}\right),$$
$$\mathbf{T}_i^{\varphi} = \mathbf{T}_i^{\varphi}\left(\lambda, L_i^{\varphi}\right), \qquad (10)$$

тут λ — длина волны излучения; L_k, Λ_k, Δn_k и $n_{\mathrm{eff}k}$ — длина, период, наведенный показатель преломления и эффективный показатель преломления k-того сегмента волоконной решетки Брэгга; L_i^{φ} — длина среды волокна, соответствующей фазовому сдвигу φ_i:

$$L_i^{\varphi} = \frac{\varphi_i}{2\pi}\Lambda .$$

Изменение параметров внешней среды вытравленного участка оптического волокна вызывает локальное изменение эффективного показателя преломления соответствующего сегмента волоконной решетки Брэгга, что, согласно (8), приводит к изменению положения высокодобротного пика в спектре передачи всей структуры.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева–КАИ («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ultra-Short Phase-Shifted Fiber Bragg Grating in a Microprobe for Refractive Index Sensor with Temperature Compensation / M. Chen, T. He, Y. Zhao, G. Yang // Optics & Laser Technology. – 2023. – Vol. 157, № 108672. –DOI:1 0.1016/j.optlastec.2022.108672.

2. Upadhyay, C. Fiber Bragg Grating Refractive Index Sensor Based on Double D-Shaped Fiber / C. Upadhyay, D. Dhawan // Opt Quant Electron. – 2023. – Vol. 55, № 271. – DOI: 10.1007/s11082-022-04500-2.

ETCHED ADDRESSED FIBER BRAGG STRUCTURE WITH DUAL Π-PHASE SHIFTS

Alhussein A.N.D., Sakhabutdinov A.Zh.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

We investigate an addressed fiber Bragg grating with two π-phase shifts and a locally etched cladding section, modeled as a cascade of three FBG segments and two phase sections using the transfer-matrix formalism. Variations in the external environment of the etched segment induce a local change in the effective refractive index, leading to a predictable shift of the resonance wavelength and a retuning of the high-Q transmission peak of the entire structure. The resulting dependence enables selective addressing and enhanced sensitivity, making the device promising for compact spectral filters and environmental sensors.

УДК 621.383

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕТКИ ВВОДА-ВЫВОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОКТ НА ОСНОВЕ УСТРОЙСТВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОТОНИКИ

Замураев Р.И., Степанов И.В., Топольская Е.П.
(Уфимский университет науки и технологий)

В контексте систем оптической когерентной томографии (ОКТ) на основе устройств интегральной фотоники, для обеспечения ввода и вывода оптического излучения с фотонных интегральных схем (ФИС) преимущественно используются два типа компонентов: устройство торцевого ввода-вывода (edge coupler) и решетка ввода-вывода (grating coupler).

Ключевыми преимуществами решеток ввода-вывода в фотонных интегральных устройствах являются компактность и гибкость в дизайне и корпусировании конечного устройства. Решетки позволяют вводить и выводить оптический сигнал в любом месте ФИС, а не только с края, и имеют меньшую площадь, что особенно актуально для ФИС с плотной компоновкой элементов. Для решеток характерна большая допустимая погрешность по выравниванию с оптическим волокном [1], [2]. Кроме того, применение решеток существенно упрощают технологический процесс изготовления ФИС, исключая этапы прецизионной нарезки и полировки торцов чипа. С другой стороны, решетки демонстрируют значительно более высокие вносимые потери по сравнению с устройством торцевого ввода, что может негативно сказаться на чувствительности систем ОКТ [2]. Возможным решением данной проблемы является использование решеток на основе платформы «нитрид кремния» [3]. Другим вызовом при проектировании решёток ввода-вывода для систем ОКТ является требования к широкополосности устройств, которая типично должна быть не менее 100 нм.

В работе представлены результаты численного моделирования и параметрической оптимизации решетки ввода-вывода для системы ОКТ с перестраиваемым источником на основе ФИС, с целью повышения эффективности ввода излучения и увеличения широкополосности устройства. В качестве исходных данных для моделирования была выбрана платформа «нитрид кремния», а также рабочая длина волны устройства – 1310 нм. Численное моделирование осуществлялось в программном обеспечении Ansys Lumerical, пакет FDTD (метод конечных разностей во временной области).

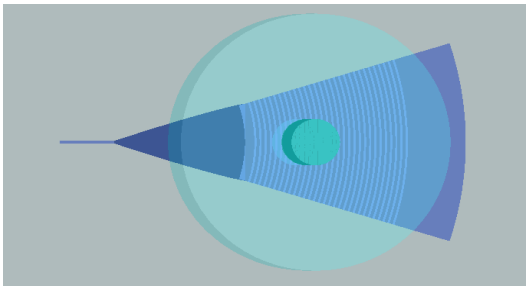


Рис. 1. Модель решетки ввода-вывода в пакете FDTD, Ansys Lumerical

Имитационное моделирование включало в себя детальный анализ распространения электромагнитного поля в структуре решетки, а также эффективность ввода/вывода оптического излучения в зависимости от длины волны и угла падения волокна. Также в рамках исследования была проведена параметрическая оптимизация ключевых параметров решетки: шаг (период) решетки, определяющий резонансную длину волны, коэффициент заполнения, влияющий на эффективный показатель преломления и эффективность ввода, а также глубина травления. В результате оптимизации были получены следующие значения параметров: шаг решетки 944 нм, заполнение 41.8% и глубина травления 319 нм. Имитационно моделирование показало, что решетка с вышеперечисленными параметрами обеспечивает эффективность ввода 22% на длине волны 1310 нм при ширине полосы 100 нм. Полученные результаты позволили рассчитать геометрию решетки для дальнейшего этапа изготовления.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. Snyder and P. O'Brien, "Packaging Process for Grating-Coupled Silicon Photonic Waveguides Using Angle-Polished Fibers," IEEE Trans. Compon., Packag. Manufact. Technol., vol. 3, no. 6, pp. 954–959, June 2013, doi: 10.1109/TCPMT.2012.2237052.

2. L. Cheng, S. Mao, Z. Li, Y. Han, and H. Fu, "Grating Couplers on Silicon Photonics: Design Principles, Emerging Trends and Practical Issues," Micromachines, vol. 11, no. 7, p. 666, July 2020, doi: 10.3390/mi11070666.

3. W. Fraser, R. Korček, I. Glesk, J. Litvik, J. H. Schmid, P. Cheben, W. N. Ye, and D. Benedikovic, "High-Efficiency Metamaterial-Engineered Grating Couplers for Silicon Nitride Photonics," Nanomaterials, vol. 14, no. 7, p. 581, Mar. 2024, doi: 10.3390/nano14070581.

NUMERICAL SIMULATION AND PARAMETRIC OPTIMIZATION OF A GRATING COUPLER FOR A OCT SYSTEM BASED ON INTEGRATED PHOTONICS DEVICES

Zamuraev R.I., Stepanov I.V., Topolskaya E.P.
(Ufa University of Science and Technology)

This work presents a grating coupler design for optical coherence tomography, developed for the silicon nitride integrated photonics platform. The design's verification was performed through numerical simulation using Ansys Lumerical software.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА НА ОСНОВЕ ТАФМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЧМ-СИГНАЛА

Викулов К.В., Денисенко П.Е.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В данной работе рассматривается радиофотонный метод определения угла прихода на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции (ТАФМ) при помощи линейного частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала с возможностью отслеживания нескольких объектов.

Схема, на основе которой основан предлагаемый метод, продемонстрирована на Рис. 1.

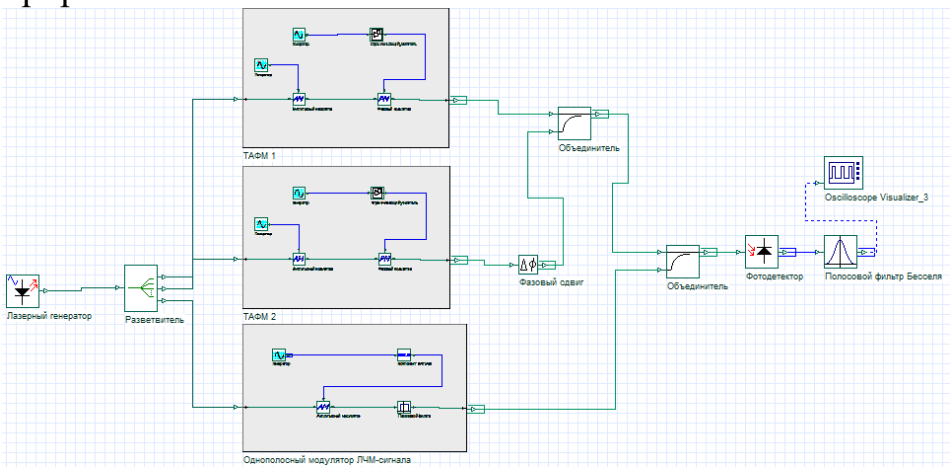


Рис. 1. Схема определения угла прихода на основе ТАФМ с использованием ЛЧМ-сигнала

Блоки ТАФМ 1 и ТАФМ 2 представляют собой блоки модуляции оптического сигнала при помощи излучения пришедшего от объекта [1]. Последний блок формирует ЛЧМ-сигнал. После объединения сигнала и его детектирования получаем осциллограмму, проиллюстрированную на Рис. 2.

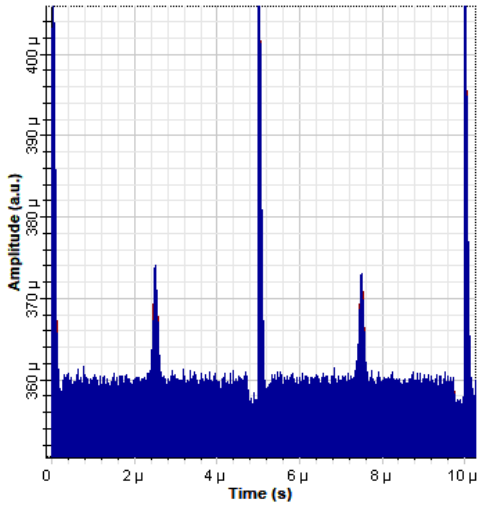


Рис. 2. Выходная осциллограмма

На ней можно увидеть опорные сигналы, период которых соответствует периоду ЛЧМ-сигнала. Составляющие меньшей амплитуды называются информационными. Изменение амплитуды этих спектров несет информацию о фазовом сдвиге сигнала между антеннами ТАФМ 1 и ТАФМ 2, что в свою очередь дает возможность вычислить угол прихода [2].

Для того чтобы определить углы прихода двух объектов, необходимо принимать зондирующие сигналы на двух частотах. Их информационные пики будут на разном удалении от опорного сигнала, что поможет без труда идентифицировать цели. Осциллограмма для двух целей показана на Рис. 3.

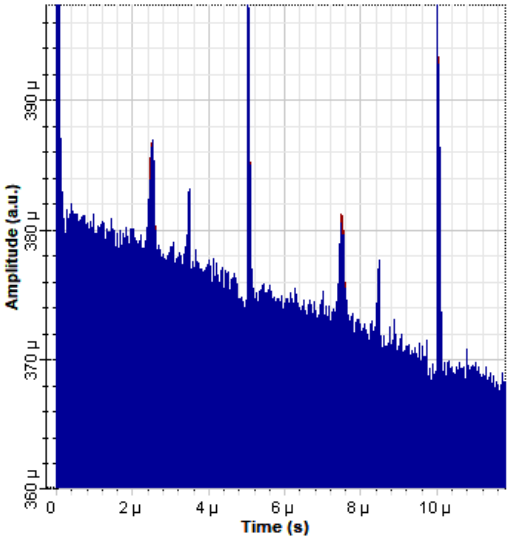


Рис. 3. Выходная осциллограмма для двух целей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов О.Г. Радиофотонный метод определения угла прихода отражённого радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник поволжского государственного технологического университета. 2021. Серия: радиотехнические и инфокоммуникационные системы. -№ 1 (49). С. 50-62.

2. Kong, Z. A Photonic Approach for Simultaneous Frequency and AOA Measurement of Multi-Target // Journal Of Lightwave Technology. 2025. № 2. P. 572 – 578.

RADIO-PHOTON METHOD FOR DETERMINING THE ANGLE OF ARRIVAL BASED ON TAFM USING A LFM SIGNAL

Vikulov K.V., Denisenko P.E.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper discusses a radiophotonic method for determining the angle of arrival based on tandem amplitude-phase modulation (TAPM) using a linear frequency-modulated (LFM) signal with the ability to track multiple objects.

УДК 681.518.3

ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Мухамадиев А.А., Ясовеев В.Х.
(Уфимский университет науки и технологий)

В статье рассматривается применение оптических элементов в информационно-измерительных системах (ИИС), позволяющих реализовать концепцию полностью оптических информационно-измерительных систем. Предлагается использовать акустооптический преобразователь для управления параметрами оптического излучения. Описаны принципы работы оптических входных элементов и их математическая реализация. Рассмотрены оптические параметры входных элементов акустооптической ИИС. Приведена методика расчета оптических параметров входных элементов акустооптической ИИС.

В настоящее время применение оптических элементов в ИИС различного назначения получает все большее распространение, что позволяет реализовать концепцию полностью оптических ИИС. Данная концепция обеспечивает реализацию полного цикла операций с оптическими сигналами без их последующего преобразования в электрические [1]. Для реализации данной концепции авторами разработаны конструкции ИИС различного назначения на основе акустооптических преобразователей и оптических волокон.

Одним из элементов, определяющих основные характеристики, является устройство акустооптического преобразования оптического сигнала. Приведенное ниже устройство (Рис. 1), обеспечивает коммутацию оптических сигналов на основе акустооптического дефлектора.

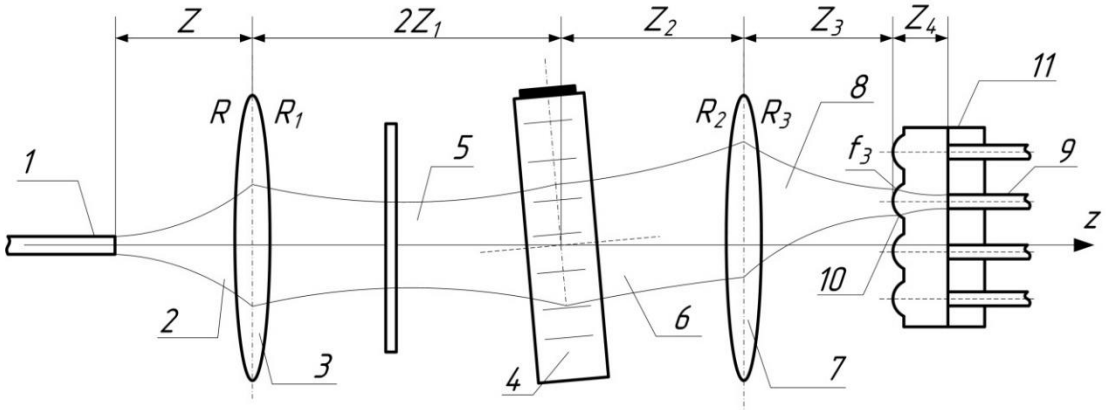


Рис. 1. Устройство для акустооптической коммутации

Определение промежутка с учетом входного и выходного оптического сигнала вычисляется путем поочередного суммирования геометрических характеристик элементов всей системы: $Z_\Sigma = z+2z_1+z_2+z_3+ z_4$ [2-7].

Авторами предложена методология определения характеристик входных оптических элементов проектируемых акустооптических ИИС, обеспечивающая

возможность получения заданных параметров путем реализации алгоритмических и программных методов для вновь создаваемых систем. Полученные авторами аналитические зависимости позволяют обеспечить разработку математических моделей процессов и систем, провести расчет и подбор входных оптических элементов, сформировать необходимую структуру системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев В.И. Фотонные коммутаторы // Компоненты и технологии. – 2006. – № 2. – 5 с.

2. Mukhamadiev A.A. Mathematical model of acousto-optic switch for fiber-optic lines, Journal of Optical Technology, vol. 87, no. 4, pp. 199-204, Apr. 2020, doi: 10.1364/JOT.87.000199.

3. Давыдов А.И., Мухамадиев А.А. , Ураксеев М.А. Акустооптическая коммутация элементов в информационно-измерительных системах // Датчики и системы. – 2013. – № 2. – С. 33–36.

4. Давыдов А.И., Мухамадиев А.А. , Ураксеев М.А. Построение волоконно-оптической распределенной информационно-измерительной системы с акустооптической коммутацией каналов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 1. – Т. 9. – С. 80–83.

5. Saleh Bahaa E.A., Teich Malvin Carl Fundamentals of photonics. – A WileyInterscience publication, 1991. – С. 85–95.

6. Siegman A.E. Lasers: university science books. – Mill Valley, California, 1986. – С. 664–672.

7. Self S.F. Focusing of spherical Gaussian beams [//Applied optics. – 1983. – Vol. 22, № 5. – С. 658–661

OPTICAL PARAMETERS OF INPUT ELEMENTS OF THE ACOUSTO-OPTIC INFORMATION-MEASURING SYSTEM

Mukhamadiev A.A., Yasoveev V.Kh.
(Ufa University of Science and Technology)

This article examines the use of optical elements in information-measuring systems (IMS), enabling the implementation of the concept of all-optical information-measuring systems. It proposes using an acousto-optic transducer to control optical radiation parameters. The operating principles of optical input elements and their mathematical implementation are described. The optical parameters of the input elements of an acousto-optic IMS are examined. A method for calculating the optical parameters of the input elements of an acousto-optic IMS is presented.

УДК 621.373.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Бабушкин Р.А., Липатников К.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В данной работе исследуется работа полупроводниковых лазеров при высоких температурах. Приведены данные измерений их выходной мощности и спектра излучения.

Повышение температуры активной среды приводит к смещению центральной длины волны и падению мощности полупроводниковых лазеров, что ограничивает их применение в высокотемпературных условиях. В работе рассматривается стандартный нестабилизированный SFP-модуль на базе лазера Фабри-Перо (длина волны 1550 нм), а также лазер DFB-1550-14BF производства компании НОЛАТЕХ.

В ходе эксперимента лазерный диод подвергался температурному воздействию в диапазоне от +35 °C до +120 °C с одновременным измерением оптической мощности излучения. Каждая температура выдерживалась в течение 10 минут.

Полученная температурная характеристика представлена на рисунке 1.

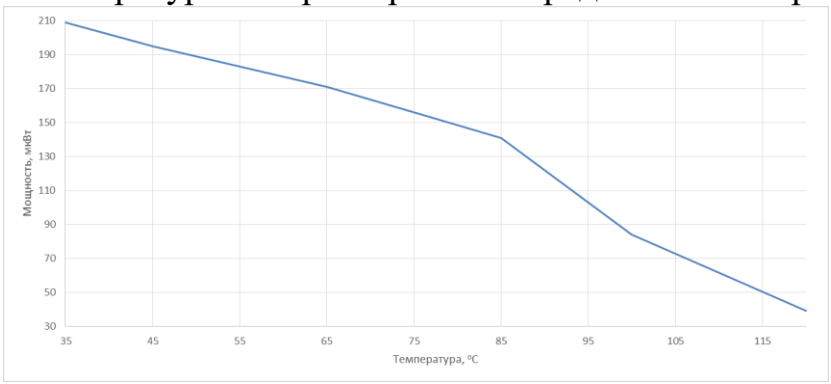
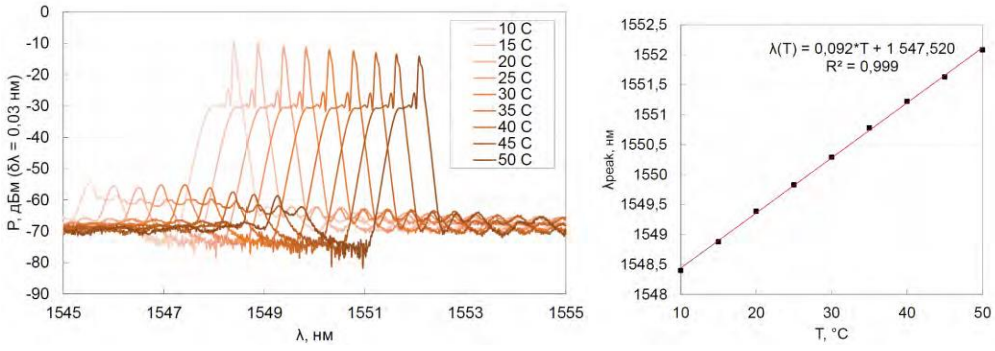


Рис. 1. Температурная зависимость оптической мощности лазерного диода



а) б)

Рис. 2. Спектральные характеристики лазера НОЛАТЕХ DFB-1550-14BF при разных температурах активной среды (а); температурная зависимость центральной длины волны (б) [1]

Исследовано влияние температуры активной среды на спектральные характеристики и центральную (пиковую) длину волны излучения. Полученные зависимости представлены на рисунке 2. Коэффициент температурного дрейфа центральной длины волны составил ~0,095 нм/°C.

Несмотря на уменьшение мощности центрального пика при повышении температуры (при +120 °C — около 40 мВт), спектральная форма сохраняется стабильной. Указанного уровня мощности достаточно для обеспечения надёжной передачи и последующего приёма сигнала. [2]

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Borisova A.V. Emission spectra of Russian-made ROS lasers under different pumping modes and temperatures / A.V. Borisova, K.V. Stepanov, M.S. Bobarov // Photon-Express Nauka [Foton-Ekspress Nauka]. – 2023. – No. 6 (Special issue). – pp. 361–362.

2. Бабушкин, Р. А. Исследование возможности применения полупроводниковых лазеров при высоких температурах / Р. А. Бабушкин // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2025 : Сборник тезисов докладов XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 10–12 апреля 2025 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2025. – С. 190-192.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURES ON THE CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR LASERS

Babushkin R.A., Lipatnikov K.A.

(National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Abstract. The article discusses the possibility of using semiconductor lasers at high temperatures. The results of measurements of the output power and emission spectrum are presented.

УДК 681.586.5

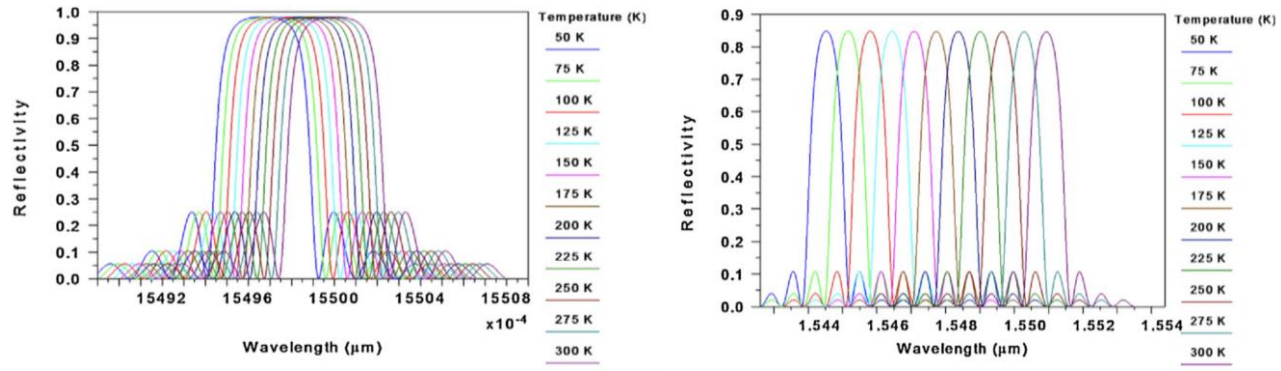
МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Мансуров Д.Р., Липатников К.А., Смирнов Н.Д.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

В данной работе проведено экспериментальное исследование методов повышения чувствительности волоконно-оптических датчиков за счет нанесения медного напыления. Представлены результаты измерений выходной мощности и спектра излучения.

Несмотря на широкое применение волоконно-брэгговских решеток (ВБР) в термометрии, обусловленное их высокой точностью и помехоустойчивостью, их чувствительность ограничена свойствами кварцевого волокна. В данной работе исследуется метод повышения чувствительности ВБР путём введения в конструкцию решетки композитных полимеров.

Датчики на основе ВБР имеют типовую чувствительность около 10 пм/оС, обусловленную термооптическим эффектом и ТКЛР самого оптического волокна. В работе [1] предложен вариант повышения чувствительности за счет нанесения медного напыления. В ходе эксперимента сравнивается сдвиг волны ВБР без покрытия и ВБР с металлизацией толщиной 20 μм. ВБР подвергали различным температурам от 50 до 300 К. Было выявлено, что общий сдвиг длины волны Брэгга для ВБР без покрытия составляет 0,4 нм (рисунок 1, а), а общий сдвиг волны Брэгга для ВБР с металлизацией составил 6,4 нм (рисунок 1, б).



а) *б)*

Рис. 1. Спектры отражения при различных температурах а) открытого ВБР-датчика; б) ВБР-датчика с медным покрытием

В основе предложенного метода лежит нанесение на ВБР композитных материалов (полимеров, металлов), характеризующихся высоким коэффициентом теплового расширения. Возникающая при нагреве механическая деформация волокна усиливает сдвиг брэгговской длины волны, что и повышает чувствительность датчика.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mishra V., Lohar M., Amphawan A., / Improvement in temperature sensitivity of FBG by coating of different materials // Optik, Volume 127, Issue 2, 2016, P. 825-828, ISSN 0030-4026, URL: https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.10.014.

METHOD OF INCREASING THE SENSITIVITY OF FIBER-OPTIC TEMPERATURE SENSORS

Mansurov D.R., Lipatnikov K.A., Smirnov N.D.
(National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

In this work, an experimental study of methods for increasing the sensitivity of fiber-optic sensors by applying a copper coating is conducted. The results of measurements of the output power and radiation spectrum are presented.

УДК 621.315

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Яблочкин К.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В инфокоммуникациях часто возникает задача анализа оптических волокон (ОВ) как традиционных конструкций (планарные оптические волноводы и кварцевые волоконные световоды), так и сложной структуры (ОВ с некруглой сердцевиной, фотоннокристаллические, микроструктурированные и брэгговские ОВ).

На сегодняшний день существует две большие группы методов для расчета параметров передачи телекоммуникационных оптических волокон разнообразной конструкции. К первой группе принадлежат приближенные подходы, ко второй – строгие методы. Выбор методики расчета во многом определяться конкретной физической задачей, требуемой точностью и доступными вычислительными ресурсами.

Первоначальный расчет слабонаправляющих волноводов возможен по приближенным формулам, однако последующее уточнение необходимых критичных параметров с контролируемой погрешностью вычислений или корректное моделирование произвольной волноводной структуры возможно только с применением строгих методов. Среди строгих векторных методов наибольшее практическое распространение для анализа волокон со сложной геометрией получили методы, основанные на дискретизации области, такие как метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей (МКР).

В данной работе представлено решение для телекоммуникационных кварцевых волноводов с известными геометрическими параметрами и физическими свойствами. Разложение исследуемых оптических волокон на простые конечные элементы и задание граничных условий для анализа осуществлялось в пакетах MATLAB и COMSOL Multiphysics.

Необходимо указать, что численные методы позволяют получить строгое решение как для телекоммуникационных ОВ традиционной конструкции, так и оптических волноводов сложной структуры. В работе исследуется эффективность комбинированного подхода на основе МКЭ и МКР для моделирования волокон со сложной геометрией сердцевины.

Анализ полученных результатов показал, что применение строгих векторных методов для расчета параметров передачи ОВ сложной конструкции требует увеличенного количества элементов, необходимых для дискретизации заданной области и приводит к увеличению числа решений сформированной системы линейных алгебраических уравнений и возникновения возможных нефизических решений.

NUMERICAL METHODS OF OPTICAL FIBER ANALYSIS

Yablochkin K.A.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

In this paper presents a solution for telecommunication optical fibers with an arbitrary refractive index profile using an accurate numerical calculation method based on the finite element method (FEM) and the finite difference method (FDM) with a fully vector representation of the electric and magnetic components of the mode field.

УДК 551.508.85

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОФОТОННОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

[1]Ростокин И.Н., [1]Федосеева Е.В., [2]Щукин Г.Г.,
[1]Ростокина Е.А., [1]Холодов И.Ю., [1]Матюков М.А.
([1]Муромский институт (филиал) ФГБОУ «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, [2]АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт)

Для разработки нового цифрового метода повышения точности результатов дистанционного мониторинга и достоверности прогнозирования неблагоприятных и опасных атмосферных явлений природного и антропогенного характера на основе интеллектуального комплексирования данных измерений и адаптивного управления радиофотонным пассивно-активным метеорологическим комплексом, необходимо решить задачи оптимизации работы пассивно-активного радиофотонного микроволнового метеорологического комплекса [1].

Формирование общей базы результатов измерений многодиапазонной микроволновой радиометрической системы, измерений атмосферного электричества, измерений метеопараметров в районе расположения комплекса дистанционного зондирования; в теоретической оценке пространственно-временной чувствительности результатов дистанционного зондирования атмосферы к условиям формирования опасных атмосферных явлений и определении методик комплексирования данных измерений при решении обнаружения условий формирования опасных атмосферных явлений [2].

В комплексной оценке полученных результатов при их обработке нейронной сетью с оптимизированным алгоритмом их объединения и комплексирования; оценке достоверности выявления указанных условий и адаптивного с результатами интеллектуального комплексирования данных измерений управлением пассивным и активным режимами работы радиофотонного метеорологического комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shchukin G.G., Zhukov V.Y., Rostokin I.N. Improvement of the all-weather profiler // Journal of Physics: Conference Series. "Actual Problems of Radiophysics International Conference 2021, APR 2021" 2021. p. 012017.

2. Fedoseeva E. V., Rostokin I.N., Shchukin G. G., Rostokina E. A., Kholodov I. Yu. Comparative Assessment of Radio Noise Signal Losses in Radio Frequency and Radiophoton Microwave Transmission Line // Proceedings – 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC) ISBN 979-8-3503-3206-3. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079517.

RESEARCH ON THE FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF BUILDING A NEW GENERATION RADIOPHOTONIC METEOROLOGICAL RADAR

[1]Rostokin I.N., [1]Fedoseeva E.V, [2]Shchukin G.G.,
[1]Rostokina E.A. [1]Kholodov I.Yu., [1]Matyukov M.A.
([1]Murom Institute of Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov,
[2]State Scientific Research Navigation and Hydrographic Institute)

To develop a new digital method for enhancing the accuracy of remote monitoring results and the reliability of forecasting adverse and hazardous atmospheric phenomena of both natural and anthropogenic origin, based on intelligent data integration and adaptive control of a radio-photonic passive-active meteorological complex, it is necessary to address the optimization of the operation of the passive-active radio-photonic microwave meteorological complex. This includes forming a comprehensive database of measurement results from a multi-band microwave radiometric system, measuring atmospheric electricity, and recording meteorological parameters in the area surrounding the remote sensing complex.

Additionally, it involves theoretically assessing the spatiotemporal sensitivity of remote sensing results to the conditions that lead to dangerous atmospheric phenomena and determining methodologies for integrating measurement data to detect these hazardous conditions. A comprehensive evaluation of the results obtained through processing with a neural network using an optimized algorithm for their integration and aggregation is also required. Finally, assessing the reliability of identifying these conditions and adapting the results through intelligent data integration management of the passive and active operational modes of the radio-photonic meteorological complex is essential.

УДК 551.508.769

ВОПРОСЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЦИФРОВОГО НАКОПЛЕНИЯ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ РАДИОФОТОННОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

[1]Ростокина Е.А., [1]Федосеева Е.В., [2]Щукин Г.Г.,
[1]Ростокин И.Н., [1]Холодов И.Ю., [1]Матюков М.А.
([1]Муромский институт (филиал) ФГБОУ «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, [2]АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт)

Для оперативного прогнозирования структуры приземного атмосферного слоя необходимо сосредоточиться на двух категориях атмосферных явлений: микромасштабных процессах (временной диапазон от доли секунды до нескольких минут) и мезомасштабных процессах (диапазон от одной минуты до нескольких часов).

В течение указанных периодов происходят флуктуации основных метеорологических параметров - температурного режима, степени влажности и барометрического давления, которые являются определяющими факторами для построения прогностических моделей. Параллельно развиваются конвективные облачные образования, инициирующие образование и выпадение атмосферных осадков.

Учитывая эти факторы, система накопления и анализа сигналов микроволновой радиометрической установки должна быть оптимизирована путем выбора надлежащей длительности цифрового интегрирования (параметра, определяющего инерционность фильтра нижних частот на выходе системы), обеспечивающей наиболее адекватное отслеживание изменений метеорологических явлений в приземном слое [1].

Использование статичного значения интегрирующей постоянной времени может ограничить чувствительность системы к быстрым атмосферным процессам, длительность которых меньше периода накопления сигнала.

Исходя из этого, возникла необходимость исследовать целесообразность реализации адаптивного механизма регулирования длительности цифрового интегрирования в микроволновой радиометрической установке с автоматической подстройкой под текущие метеорологические условия проведения измерений.

Результаты апробации адаптивного подхода к модуляции интегрирующей постоянной времени при обработке выходных сигналов микроволновой радиометрической системы продемонстрировали преимущества данного метода при исследовании динамичных микромасштабных атмосферных явлений в сравнении с традиционным подходом фиксированного периода накопления. Преимущество адаптивного метода заключается в возможности оперативной корректировки параметров радиометрической системы в соответствии с текущей динамикой микромасштабных атмосферных процессов [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedoseeva E.V., Rostokin I.N., Shchukin G.G. Calibration of a tri-band microwave radiometric system with background noise compensation. // Measurement Techniques. 2020. T. 63. № 4. p. 301-307.

2. Fedoseeva E.V., Rostokin I.N., Shchukin G.G. Multi-frequency Microwave Radiometric Studies of the Inhomogeneous Atmosphere. // Russian Meteorology and Hydrology, 2022, Vol. 47, No. 12, pp. 958–964

QUESTIONS OF DYNAMIC CHANGE IN THE TIME OF DIGITAL ACCUMULATION OF OUTPUT SIGNALS IN A RADIOPHOTONIC RADIOMETRIC SYSTEM

[1]Rostokina E.A., [1]Fedoseeva E.V., [2]Shchukin G.G.,
[1]Rostokin I.N., [1]Kholodov I.Yu., [1]Matyukov M.A.
([1]Murom Institute of Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov,
[2]State Scientific Research Navigation and Hydrographic Institute)

In short-term forecasting of the state of the atmospheric boundary layer, the main objects of study are micrometeorological processes with a period from fractions of seconds to several minutes and mesometeorological processes with a period from a minute to several hours. During these time intervals, fluctuations in temperature, relative humidity, and air pressure occur, which make a major contribution to forecast models, as well as the development of cumulus clouds, which leads to precipitation and precipitation. In this regard, in the system for collecting and processing microwave radiometric measurement data, it is necessary to select a digital accumulation time (the time constant for integrating the output low-pass filter) at which the output signal most accurately tracks changes in these processes in the atmospheric boundary layer.

УДК 621.383

АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАГРЕВА В ВОЛОКОННО ОПТИЧЕСКИХ АНЕМОМЕТРАХ ДЛЯ КВАЗИ-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОТОКА

Нигматуллин С.Н., Морозов О.Г.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Волоконно-оптические анемометры на принципе горячей проволоки обеспечивают квази-распределённый мониторинг потоков в агрессивных средах, где электрические датчики неприменимы из-за электромагнитных помех и взрывоопасности. Принцип действия заключается в измерении тепловых потерь от нагретой секции волокна, вызывающих сдвиг спектра волоконных брэгговских решёток или интерферометров Фабри-Перо. Разрешение достигает от 0,3 до 10 метров вдоль волокна, с чувствительностью 0,1 м/с. Методы нагрева минимизируют энергопотребление (10–100 милливатт) и интегрируются с оптической частотной рефлектометрией или фазовой оптической рефлектометрией во временной области [1].

Классификация методов нагрева основана на способах преобразования энергии в тепловую: оптическое поглощение в покрытиях или допированных участках волокна; геометрическое извлечение излучения; резистивное (джоулево) нагревание микронагревателями; радиочастотное и микроволновое воздействие на поглощающие слои; гибридные схемы с распределёнными акустическими сенсорами и наноматериалами. Лазерное нагревание волоконных брэгговских решеток – это основной оптический метод, принцип работы в использовании участка волокна, допированного кобальтом как нагревательный элемент с двумя решетками для сенсора, лазер на длине волны 1480 нм обеспечивал разрешение 0,012 м/с при диапазоне скоростей от 2 м/с до 8 м/с [4].

В российских разработках подтверждается эффективность геометрического выведения: травление оболочки фтористоводородной кислотой на глубину от 20 мкм до 50 мкм или создание переходов SMF–MMF–SMF с мультимодовым участком длиной от 5 мм до 20 мм вызывают чирп решетки со сдвигом длины волны Брэгга от 0,15 нм до 3 нм при мощности 50 мВт, хотя вносимые потери превышают 1 дБ/см. Диапазон скоростей от 0 м/с до 15 м/с делает этот метод подходящим для компактных систем. Резистивное джоулево нагревание осуществляется через микронагреватели. Тонкопленочные или напечатанные резистивные элементы на подложке интегрируются с волокном, позволяя локальный контроль температуры до 200 °C при энергопотреблении менее 10 мВт, что обеспечивает высокую управляемость в адресных узлах, несмотря на необходимость электрических подключений, снижающих стойкость к помехам. Радиочастотное и микроволновое нагревание дистанционно активирует поглощающие слои, такие как металлизация или наноматериалы, где микроволны действуют в 2,4 раза быстрее радиочастот в жидкостях и волоконные зонды сохраняют устойчивость к электромагнитным полям, как в

промышленных индукционных системах. Распределенные тепловые методы используют оптическую частотную рефлектометрию для отслеживания теплового импульса вдоль волокна, оценивая скорость потока по времени диффузии тепла (v пропорционально $\Delta T/\tau$), с охватом до 10 км и разрешением 1 м при ошибке менее 3% [3]. Квази-распределенные системы с рециркуляцией импульсов, разделенные спектрально-селективными элементами, мультиплексируют до 10 сенсоров на километр [1], идентифицируя их по частоте рециркуляции.

Сравнительный анализ указывает, что оптические методы превосходят по восприимчивости к помехам с коэффициентом чувствительности более 0,05 нм/(м/с), резистивные – по точности контроля, а распределенные – по масштабу, с оптимальным вариантом в гибридных схемах волоконных брэгговских решеток и оптической частотной рефлектометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новикова В. А., Варжель С. В. Исследование методов создания горячей проволоки волоконно-оптического теплового анемометра // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 500–506.

2. Ludescher S. et al. Revisiting wind speed measurements using actively heated fiber optics: a wind tunnel study // Atmos. Meas. Tech. – 2020. – Vol. 13. – P. 5423–5439.

3. Sayde C. et al. High-resolution wind speed measurements using actively heated fiber optics // Geophys. Res. Lett. – 2015. – Vol. 42. – P. 10064–10073.

4. Gao S. et al. All-optical fiber anemometer based on laser heated fiber Bragg gratings // Opt. Express. – 2011. – Vol. 19, iss. 11. – P. 10124–10130.

ANALYSIS OF HEATING METHODS IN FIBER-OPTIC ANEMOMETERS FOR QUASI-DISTRIBUTED FLOW MONITORING SYSTEMS

Nigmatullin S.N., Morozov O.G.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper summarizes heating methods in fiber-optic hot-wire anemometers for quasi-distributed flow monitoring. The analysis covers optical absorption in doped fibers and coatings, geometric light extraction, resistive microheating, and hybrid photothermal schemes with nanomaterials. Optical heating provides high sensitivity and electromagnetic immunity, while hybrid FBG–reflectometry configurations offer scalable and robust solutions for flow diagnostics in harsh environments.

УДК 621.383

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Нигматуллин С.Н., Морозов О.Г.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Высокоточное измерение скорости и направления потока в трубопроводах в условиях взрывоопасности, электромагнитных помех и агрессивных сред является ключевой задачей для нефтегазовой, химической и авиационной отраслей [1]. Настоящий анализ рассматривает применение волоконно-оптических технологий (ВОТ) для мониторинга в реальном времени указанных параметров с акцентом на их метрологические характеристики и перспективы внедрения.

Точечные волоконно-оптические методы, включая LDV и анемометры на основе ВБР, обеспечивают локальные измерения скорости с разрешением до 0,012 м/с, но ограничены прозрачностью жидкости и требуют калибровки в агрессивных средах [1]. Тепловые ВБР-анемометры используют джоулев нагрев, достигая чувствительности 0,091 нм/(м/с) при скоростях до 2,5 м/с и энергопотреблении около 60 мВт/м. Интерферометрические сенсоры Фабри–Перо измеряют скорости 0,1–10 мм/с, однако чувствительны к вибрациям [2].

Распределенные волоконно-оптические методы, такие как рамановская оптическая рефлектометрия во временной области (ROTDR), оптический анализ Бриллюэна во временной области (BOTDA), фазовая оптическая рефлектометрия во временной области (ϕ-OTDR) и оптическая частотная рефлектометрия или рефлектометрия в области Фурье (OFDR). BOTDA обеспечивает более точные измерения и большие длины мониторинга по сравнению с рамановскими датчиками, однако требует продолжительного времени измерения (порядка минут). Разрешение методов временной области ограничено минимальной длительностью светового импульса (~10 нс), обеспечивая продольное разрешение около одного метра.

Этот предел преодолевается в OFDR, где происходит объединение обратно рассеянного и опорного света, формируя интерференционный сигнал, по которому Фурье-преобразованием определяется отражение вдоль волокна. Метод обеспечивает субмиллиметровое разрешение на длине десятков–сотен метров и температурную чувствительность < 1 °C, что делает его оптимальным для мониторинга потока на коротких участках трубопроводов.

Адресные комбинированные ВБР-структуры (АКВБС) реализуют квази-распределённый мониторинг с мультиплексированием WDM/TDM/FDMA и опросом до 100 точек [6-7]. Радиофотонная адресная интеррогация (РФАИ) переводит брэгговский резонанс в радиочастотную область, повышая помехоустойчивость и снижая требования к источнику. При постоянной мощности нагрева измеряется разность температур между опорным и

нагреваемым датчиками, обеспечивая диапазон 50–1000 мкл/мин с ошибкой менее 1%.

Анализ подтверждает превосходство распределенных и квази-распределенных ВОТ (OFDR/АВБС) для бортовых приложений, обеспечивая метрологическую точность ниже 1% и устойчивость к условиям повышенной взрывоопасности, электромагнитных помех, а также агрессивности используемых [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jderu, A. Liquid Flow Meter by Fiber-Optic Sensing of Heat Propagation / A. Jderu, M.A. Soto, M. Enachescu [et al.] // Sensors. – 2021. – Vol. 21, no. 2. – 355.

2. Gao, S. All-optical fiber anemometer based on laser heated fiber Bragg gratings / S. Gao, A. Zhang, H. Tam [et al.] // Optics Express. – 2011. – Vol. 19.

3. Gorshkov, B.G. Scientific Applications of Distributed Acoustic Sensing: State-of-the-Art Review and Perspective / B.G. Gorshkov, K. Yüksel, A.A. Fotiadi [et al.] // Sensors. – 2022. – Vol. 22, № 3.

4. Морозов, О.Г. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах / О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 4. – С. 535-543.

5. Аглиуллин, Т.А. Многоадресные волоконные брэгговские структуры в радиофотонных сенсорных системах / Т.А. Аглиуллин, В.И. Анфиногентов,[и др.] // Труды учебных заведений связи. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 6-13.

6. Мисбахов Рус.Ш. Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры / Рус.Ш. Мисбахов, В.И. Артемьев, О.Г. Морозов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2024. – № 2 (62). – С. 77-90.

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR LIQUID FLOW VELOCITY MEASUREMENT USING FIBER-OPTIC TECHNOLOGIES

Nigmatullin S.N., Morozov O.G.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents an analytical overview of fiber-optic technologies applied to the measurement of liquid flow velocity. The study examines localized and distributed optical sensing approaches, including fiber Bragg gratings (FBG), Fabry–Perot interferometers, and distributed reflectometry techniques such as Raman, Brillouin, Rayleigh (φ-OTDR), and optical frequency-domain reflectometry (OFDR). The analysis focuses on their metrological characteristics—sensitivity, resolution, accuracy, and thermal stability—as well as their applicability to harsh, explosive, and electromagnetically active environments. Modern hybrid and quasi-distributed systems based on FBG arrays and radio-photonic interrogation achieve high precision and immunity to interference, demonstrating strong potential for real-time flow monitoring in industrial and aerospace applications.

УДК 535

ПРИМЕНЕНИЕ СТРОБИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕМНОВЫХ ОТСЧЁТОВ ЛАВИННОГО ФОТОДИОДА

Замалиев Р.Р., Гилязов Л.Р., Данилаев Д.П., Арсланов Н.М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, кафедра Электронных и квантовых средств передачи информации, Казанский квантовый центр КНИТУ КАИ)

Основным рабочим механизмом лавинных фотодиодов (ЛФД) служит эффект лавинного умножения (ударной ионизации), позволяющий значительно усиливать фототок, генерируемый в полупроводнике. Это обеспечивает им превосходные характеристики детектирования на высоких частотах в сравнении с иными типами полупроводниковых фотоприемников. В квантовых технологиях ЛФД применяются в качестве сенсорных элементов в детекторах одиночных фотонов (ДОФ), которые относятся к твердотельному классу. Подобные детекторы отличаются компактными габаритами относительно систем на базе фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) или сверхпроводящих элементов. К их недостаткам можно отнести относительно невысокую квантовую эффективность – процентное отношение числа зафиксированных фотонов к общему числу падающих на детектор.

Лавинные фотодиоды функционируют в двух основных режимах: линейном и в режиме счёта одиночных фотонов (режиме Гейгера). В последнем случае возникают темновые отсчёты, обусловленные тепловыми шумами и туннелированием носителей заряда в полупроводниковой структуре. Эти шумовые импульсы могут маскировать или полностью заглушать полезный сигнал от поглощённого фотона, что снижает эффективность детектирования системы [1].

В линейном режиме обратное смещение на диоде (V_A) ниже напряжения пробоя (V_B). Внутренний коэффициент умножения (коэффициент усиления, M) в этих условиях может составлять от 10^2 до 10^3. Для перехода в режим счёта фотонов необходимо напряжение смещения, превышающее напряжение пробоя (V_A > V_B). В этом режиме коэффициент M достигает значений $10^5 – 10^6$.

По материалу активной области ЛФД делятся на два основных типа: кремниевые (Si) и приборы на основе гетеропереходов (например, InGaAs). Кремниевые ЛФД характеризуются высоким напряжением пробоя (до 10^2–10^3 В) и работают в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Гетеропереходные фотодиоды обладают меньшим напряжением пробоя (порядка 10–10^2 В) и предназначены для работы в ближнем и среднем ИК-диапазонах [1, 2, 3]

Одним из ключевых вызовов при работе в режиме счёта фотонов является снижение уровня темновых отсчётов, вызванных, в том числе, процессами захвата носителей. Для решения этой задачи применяются специальные методики, например, использование схемы стробирования, которая заключается в периодическом отключении детектора [2].

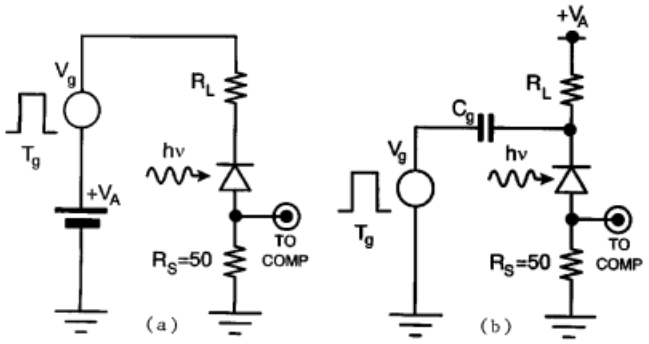


Рисунок 2 Пассивные системы стробирования ЛФД. (a) Стробирование постоянным напряжением. (b) Стробирование переменным напряжением. [2]

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (рег. номер НИОКТР 125012300688-6), направленного на оплату труда сотрудников. Приобретение комплектующих для вычислительных систем и деталей для экспериментальных установок было обеспечено программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева ("ПРИОРИТЕТ-2030"), рег. номер НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филачев А.М., Тришенков М.А., Таубкин И.И. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. – г. Долгопрудный, Московская область: Издательство "Физматкнига", 2011. – 448 с.

2. Cova S., Ghioni M., Lacaita A., Samori C., Zappa F. Avalanche photodiodes and quenching circuits for single-photon detection // Applied Optics Vol. 35. – 1996. – № 12. – P. 1956-1976.

APPLICATION OF GATING SYSTEMS TO REDUCE THE NUMBER OF DARK COUNTS IN AN AVALANCHE PHOTODIODE

Zamaliev R.R., Gylyazov L.R., Danilaev D.P., Arslanov N.M.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Avalanche photodiodes utilize the avalanche multiplication effect for highly sensitive detection, which determines their application as receivers in solid-state single-photon detectors for quantum technologies. The key operating mode for this task is the Geiger mode (photon counting), the main disadvantage of which is limited quantum efficiency due to the occurrence of dark counts.

УДК 681.7.068.2

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО СЕНСОРА

Дашков М.В., Сосунов Д.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Распределенные волоконно-оптические акустические сенсоры получают применение в различных сферах от охранных комплексов до интеллектуальных транспортных систем. Некоторые приложения требуют точного восстановления спектра воздействующего сигнала [1]. При этом характеристики откликов будут определяться совокупностью факторов: особенности передаточной характеристики системы опроса, свойства оптического волокна (ОВ) и конструктивные особенности оптического кабеля (ОК), свойств окружающей среды и используемой инфраструктуры [2]. Таким образом, необходима разработка методики измерения спектральной зависимости интегральной передаточной характеристики сенсорной системы.

В данной работе предлагается следующая методика: сигнал воздействия формируется акустической системой, подключенной через усилитель нижних частот к генератору сигнала с линейной частотной модуляцией; измерительный микрофон располагается в зоне воздействия для определения опорного акустического сигнала; система вибро-акустического мониторинга (СВАМ) регистрирует воздействие на оптическое волокно.

На рис.1 приведена схема измерения на тестовом полигоне участка волоконно-оптической линии связи, реализованной на основе технологии транспортной многоканальной коммуникации.

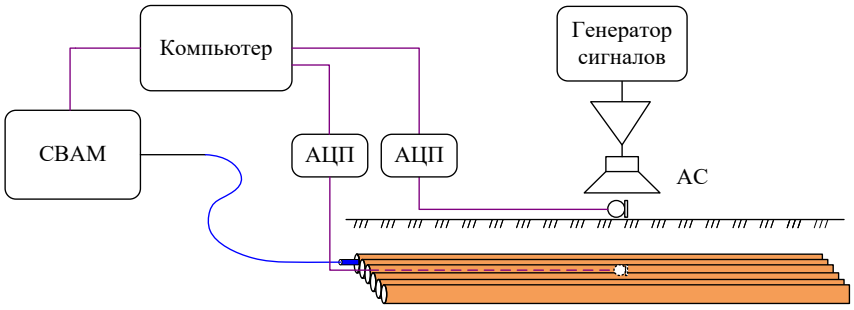


Рис. 1. Схема измерения передаточной характеристики акустического сенсора на тестовом полигоне

На процесс обработки откликов СВАМ оказывают влияние собственные шумы системы опроса, а также внешние шумы, которые могут иметь как сосредоточенный по спектру и времени характер, так и проявляться в виде замираний чувствительности. В результате предварительных исследований было определено, что собственный шум СВАМ растет с увеличением частоты, и для условий измерения на тестовом полигоне чувствительность в области частот

выше 1 кГц была недостаточно высокой для достоверного анализа. Таким образом, для определения амплитудно-частотной характеристики передаточной функции в работе был выбран тестовый акустический сигнал с линейной частотной модуляцией в диапазоне 30-1000 Гц с коэффициентом 1 Гц/с.

Для анализа полученных откликов была разработана методика обработки, учитывающая особенности зарегистрированных откликов. Для выявления воздействующего сигнала на фоне шумов и определения момента начала воздействия применялась согласованная фильтрация с учетом известных характеристик сигнала воздействия [3]. Для избавления от внеполосных шумов был выбран метод на основе кратковременного быстрого преобразования Фурье (КБПФ). При этом использовалась оконная функция Ханна длительностью 1 с и для каждого окна производилась фильтрация с собственной центральной частотой, определяемой параметрами тестового ЛЧМ сигнала. Ширина полосы фильтрации определялась коэффициентом перестройки частоты и длиной окна.

Для коррекции влияния шумовой составляющей в интервалах с пониженной чувствительностью производилась оценка внеполосных шумов в окрестностях действующего сигнала с аналогичными установками полосы фильтрации. Для компенсации влияния случайных замираний был предложен альтернативный метод, отличающийся использованием тестового сигнала с ЛЧМ пилообразной формы с количеством периодов 10.

В докладе представлены результаты измерения на полигоне для различных типов ОК и способов прокладки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. He Z., Liu Q. Optical Fiber Distributed Acoustic Sensors: A Review // Journal of Lightwave Technology. 2021. Vol. 39, no. 12. P. 3671–3686.

2. Jiang K. et al. How the Material Characteristics of Optical Fibers and Soil Influence the Measurement Results of Distributed Acoustic Sensing // Sensors. 2023. Vol. 23, no. 17. 7340.

3. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория электрической связи: Учебник для вузов // М.: Радио и связь, 1999. 432 с.

METHOD FOR MEASURING THE TRANSFER CHARACTERISTICS OF A DISTRIBUTED FIBRE-OPTIC ACOUSTIC SENSOR

Dashkov M.V., Sosunov D.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper proposes a method for measuring the transfer characteristics of a fiber-optic distributed acoustic sensor (DAS) based on the use of a linearly frequency-modulated signal. The results of measurements taken at the test site for various types of optical cables and installation methods are represented.

УДК 681.7.068

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПУЧКА «КРАСНОГО» ЛАЗЕРА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ОТРЕЗКОВ КВАРЦЕВЫХ КИРАЛЬНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С СЕМЬЮ ПОЛЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ СЕРДЦЕВИНАМИ И РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ НАВЕДЕННОЙ ЗАКРУТКИ

[1,2,3]Бурдин А.В., [2]Дашков М.В., [2]Евтушенко А.С., [3]Бородинов А.С.,[2]Никулина Т.В., [1,3]Беляев А.А., [1]Шурупов Д.Н., [2]Зайцева Е.С., [1]Пашин С.С., [1]Демидов В.В., [1]Тер-Нерсесянц Е.В., [1,3]Дукельский К.В., [1]Полищук Г.С.

([1]АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», [2]Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, [3]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

В ранее опубликованной работе [1] были представлены опытные образцы кварцевых киральных микроструктурированных оптических волокон (MOF) с семью полыми кольцевыми сердцевинами (HRC – Hollow Ring Core), легированных GeO_2, расположенными в центре поперечного сечения с шагом 8,80 мкм. Внутренний диаметр этих сердцевин составляет 5 мкм, а высота профиля показателя преломления — 0,03. Данные волокна сочетают в себе одновременно три нетривиальных конфигурации волоконных световодов, каждая из которых уже изначально характеризуется особыми волноводными свойствами: киральные или spun MOF – волокна с наведенной в процессе вытяжки закруткой, MOF с несколькими сердцевинами и MOF с HRC. Структура рассматриваемых 7-GeO_2-HRC MOF типичная: сердцевины окружены пятью циклами воздушных отверстий диаметром 8,80 мкм, которые расположены по гексагональной схеме с шагом 9,80 мкм. При этом внешний диаметр волокна – стандартный «телекоммуникационный» 125 мкм.

Были исследованы пять опытных образцов волокон, которые отличались друг от друга степенью закрутки, наведённой в процессе вытяжки. Она составляла 130, 206, 300, 520 и 730 оборотов на метр (об/м) (Рис. 1(а)…(в)).

Профиль пучка «красного» лазера (рабочая длина волны λ = 650 нм) измерялся после прохождении отрезков длиной порядка 2 м указанных 5 образцов 7-GeO_2-HRC MOF. Образцы были равномерно засвечены в области 2D гексагональной структуры через одномодовое оптическое волокно (ОВ), которое было прецизионно отцентрировано и установлено с зазором 150...200 мкм относительно торца тестируемого MOF.

Результаты постобработки измеренных паттернов (нормирование по азимуту и амплитуде) центральной области поперечного сечения MOF размером 400x400 у.е. представлены на Рис. 2. Анализ полученных данных демонстрирует общий тренд роста габаритов паттерна с увеличением степени закрутки. Так, например, повышающие коэффициенты размера поперечного сечения по оси Y составили 1,037, 1,073, 1,098 и 1,165 для закруток 206, 300, 520 и 730 об/м,

соответственно, относительно исходного (опорного) значения, соответствующего 7-GeO_2-HRC MOF 130 об/м.

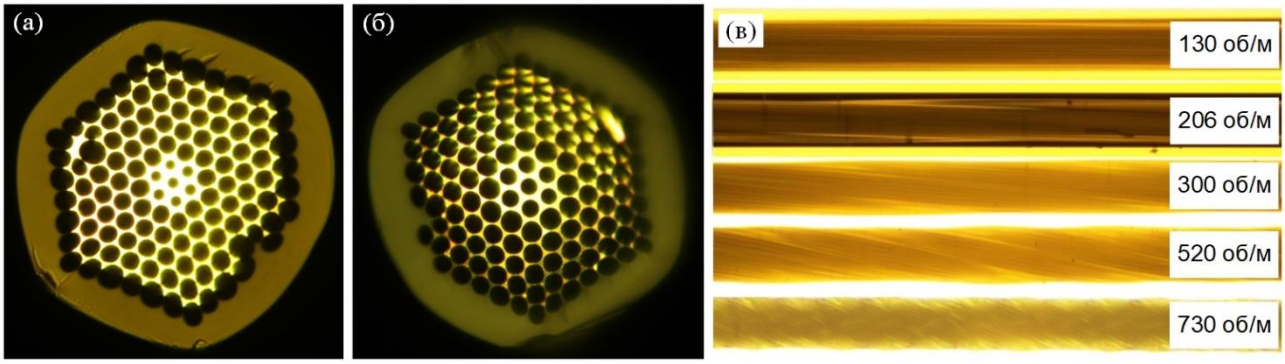


Рис. 1. Фотографии изготовленных образцов кварцевых киральных 7-GeO_2-HRC MOF: (а) закрутка 130 об/м; (б) закрутка 730 об/м; (в) продольное сечение

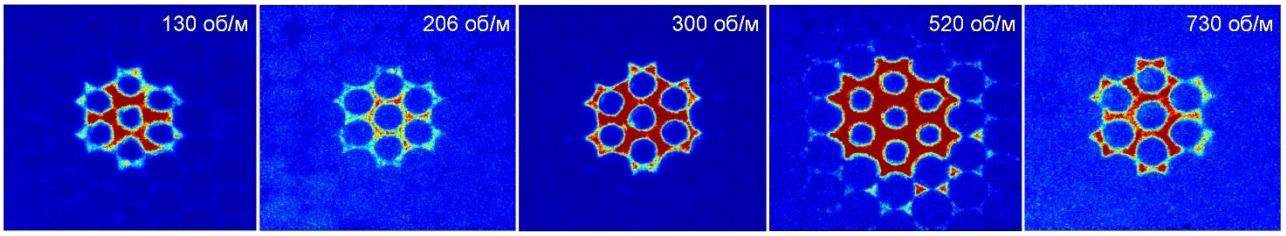


Рис. 2. Профили пучка излучения «красного» лазера в дальнем поле на выходе 7-GeO_2-HRC MOF с разной степенью наведенной закрутки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4. Бурдин А.В. и др. Кварцевые бессердцевинные микроструктурированные оптические волокна с включением GeO_2-легированных капилляров и наведенной закруткой // Фотон-Экспресс. 2023. Т. 190, №6. С. 410–411.

RESULTS OF COMPARISON “RED” LASER BEAM PROFILES AFTER PROPAGATION OVER SEGMENTS OF SILICA SPUN MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS WITH SEVEN HOLLOW RING CORES AND VARIOUS ORDER OF INDUCED TWISTING

[1,2,3]Bourdine A.V., [2]Dashkov M.V., [2]Evtushenko A.S., [3]Borodinov A.S., [2]Nikulina T.V., [1,3]Belyaev A.A., [1]Shurupov D.N., [2]Zaitseva E.S., [1]Pashin S.S., [1]Demidov V.V., [1]Ter-Nersesyants E.V., [1,3]Dukelskii K.V., [1]Polishchuk G.S

([1]JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", [2]Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, [3]Saint Petersburg State University of Telecommunications named after M.A. Bonch-Bruevich)

This work presents the results of far field “red” laser beam profile measurements, performed on a previously designed and successfully manufactured silica spun few-mode microstructured optical fiber (MOF) with included seven GeO_2-doped capillaries (or seven GeO_2-doped hollow ring cores), placed in the central part of optical fiber cross-section, and following various 5 orders of induced twisting – 130, 206, 300, 520 and 730 revolutions per meter.

Секция 3. Обработка одномерных и многомерных оптических сигналов

УДК 535.3

КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СУПЕРПОЗИЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ВИДЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ С ПОМОЩЬЮ ALEXNET И RESNET

Шилов Д. О., Козлова Е. С.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва)

Работа посвящена исследованию точности классификации параметров суперпозиции оптических вихрей в виде геометрической прогрессии с помощью сверточных нейронных сетей. В работе приведены результаты экспериментов по обучению сверточных нейронных сетей на базе AlexNet и ResNET на различных тренировочных и тестовых наборах данных.

В ходе исследования использовалось случайное разбиение исходных данных на обучающую и тестовую выборки. Было выявлено, что архитектура AlexNet не подходит для решения поставленной задачи, демонстрируя крайне низкую среднюю точность от 20% до 32,95%. В то время как архитектура ResNet позволила достичь средней точности распознавания от 74,65% до 98,7% на исходном наборе данных при обучении на 100 эпохах.

В ходе исследования была также проверена гипотеза о возможности повышения точности распознавания параметров пучка с помощью предварительного преобразования интенсивности через операцию извлечения квадратного корня. В результате применения преобразования средняя точность стала располагаться в диапазоне от 84,3% до 99,85%. Наибольшую точность классификации продемонстрировал параметр *m*, средняя точность классификации которого достигла 99,85%.

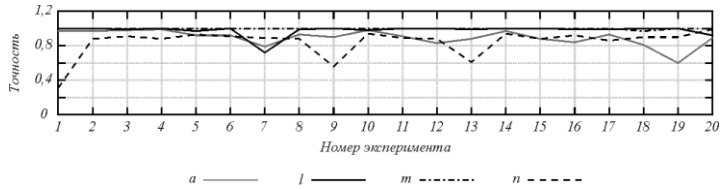


Рис. 1. График точности распознавания параметров a, n, m, l с помощью ResNet на 100 эпохах с применением операции извлечения квадратного корня из интенсивности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kotlyar VV, Kovalev AA. Topological charge of a superposition of optical vortices described by a geometric sequence. Computer Optics 2022; 46: 864–871. DOI:: 10.18287/2412-6179-CO-1152.

CLASSIFICATION OF OPTICAL VORTEX SUPERPOSITION PARAMETERS IN THE FORM OF GEOMETRIC PROGRESSION USING ALEXNET AND RESNET

Shilov D. O., Kozlova E. S.
(Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev)

The work is devoted to the study of the accuracy of the classification of optical vortex superposition parameters in the form of a geometric progression using convolutional neural networks. The paper presents the results of experiments on training convolutional neural networks based on AlexNet and ResNet on various training and test datasets. The fact of a significant advantage of using ResNet architecture (average accuracy from 74.65% to 98.7%) over AlexNet (average accuracy from 20% to 32.95%) in the scope of the problem has been established.

УДК 681.7.068

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФЕРУЛ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

Диязитдинова А.А.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе рассматривается задача определения степени загрязненности поверхности оптоволокна по изображению ферулы (наконечника оптического разъема). Одним из ключевых этапов автоматизированной обработки является выделение окружности, ограничивающей профиль волокна. В ранних исследованиях по данной теме этот этап проводился с участием оператора, который указывал точки окружности или прямоугольную область, ограничивающую окружность. Модернизация заключается в распознавании окружности методами компьютерного зрения, что позволяет минимизировать время обработки данных и влияние человеческого фактора.

Одной из современных тенденций развития телекоммуникаций является применение и развитие структурированных кабельных сетей. Основу подобных сетей составляют так называемые «телекоммуникационные розетки» (MuTOA или MuTO). По своей сути они представляет собой коммутатор, который объединяет множество оптических кабелей (волокон).

Необходимо отметить важную особенность, что оптические кабели стали элементом региональных и местных сетей, а не только магистральных. В силу того, что количество оптических кабелей в коммутаторе может быть несколько сотен, то проблема качества соединений (оптических разъемов, коннекторов) стало основной для людей, проводящих их монтаж. Опыт квалифицированных профессионалов, работающих с магистральными оптическими линиями, необходим специалистам регионального и местного уровня. Однако за короткое время организовать подобное обучение с передачей накопленного опыта практически невозможно. По этой причине стали развиваться методы, направленные на оценку качества оптических разъёмов, в частности на определение их загрязненности.

В прикладном плане это означает проведение контроля оптических коннекторов (на предмет чистоты оптических поверхностей волокон) еще до соединения кабеля с коммутатором. Такой подход позволяет экономить время и повысить качество. Оценка качества поверхности волокна проводится с помощью микроскопа. А благодаря современным методам обработки изображений данную задачу можно автоматизировать, что позволяет свести к минимуму влияние человеческого фактора.

Работа посвящена модернизации алгоритма обработки изображений, описанного в работе [1]. В частности, был использован метод Hough transform для распознавания окружности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдин А.В., Пашин С.С. Оценка коэффициента отражения на разъемном соединении одномодовых оптических волокон по результатам анализа изображений торцевых поверхностей феррул коннекторов // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6, № 4. С. 16–27.

ENHANCED METHOD OF FERRULE IMAGE PROCESSING FOR AUTOMATED POLLUTION LEVEL ASSESSMENT

Diyazitdinova A.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The article is devoted to the development of an algorithm for interactive image processing of ferrules for automatic determination of the pollution degree. The algorithm will reduce the time and complexity of the work of a specialist engaged in the installation of optical fibers. In earlier studies on this issue, this stage was defined by operators who indicated the points of the circle or the rectangular area limiting the circle. Enhancement consists of recognizing the circle using computer vision methods, which allows minimizing the data processing time and the influence of the human factor.

УДК 004.932

ОБНАРУЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

Куляс О.Л., Лошкарев А.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Использование частотного спектра в современных системах видеонаблюдения предпочтительнее пространственного анализа по следующим причинам:

- высокая вычислительная эффективность при обработке видеопотока в реальном времени;
- высокая устойчивость к шуму и изменению освещения;
- позволяет выявлять глобальные изменения и паттерны движения;
- легко интегрируется с другими методами анализа.

Рассматриваемый в данном докладе алгоритм основан на теореме Фурье, которая позволяет анализировать сигналы (изображения) в частотной области, где изменения (движение) проявляются как вариации в амплитуде и фазе спектров; вычитание спектров эквивалентно фильтрации шумов и выделению различий.

Быстрое преобразование Фурье (FFT) преобразует пространственную область в частотную, где низкие частоты соответствуют медленным изменениям (фон), а высокие – резким (движение). Вычитание спектров использует линейность *FFT: FFT(A – B) = FFT(A) – FFT(B)*, что позволяет выявлять изменения без пространственной свертки.

Алгоритм включает в себя следующие шаги:

1. Загрузка и инициализация видео, извлечение параметров (высота H, ширина W, количество кадров F) и инициализация массива для хранения всех кадров в формате uint8.
2. Преобразование кадров – каждый кадр считывается, преобразуется в оттенки серого и сохраняется в инициализированный на первом шаге массив [2]. Это упрощает анализ, так как цветовые каналы игнорируются, позволяя сфокусироваться на яркостных изменениях.
3. Выбор базового кадра – в рамках проведенных исследований в качестве статичного базового кадра без движущихся объектов был выбран 500-й кадр. Для него вычисляется FFT, осуществляется центрирование и логарифмирование для удобства визуализации (рис.1).
4. Обработка каждого кадра – в основном цикле для каждого кадра: вычисляется FFT (рис.2), результат которого затем вычитается из базового FFT, после чего применяется обратное FFT для получения реального изображения разницы (рис.3).
5. Визуализация и запись – результат нормализуется и записывается в новое видео как в формате uint8. Это создает видеопоследовательность, где движение проявляется как видимые изменения.

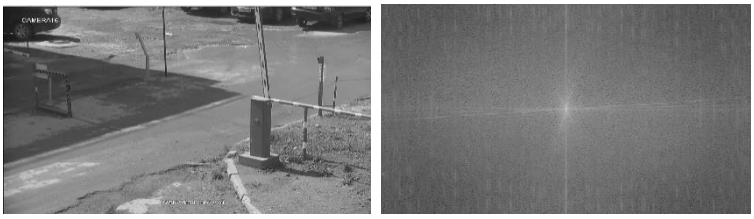


Рис. 1. Базовый статичный кадр и его частотный спектр

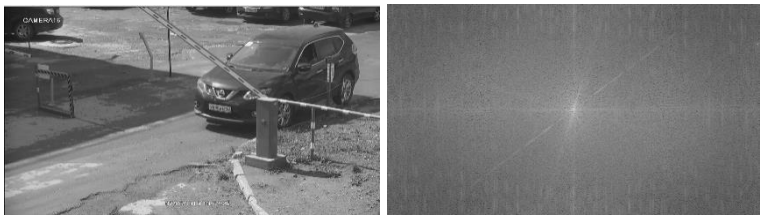


Рис.2. Кадр с движущимися объектами и его частотный спектр

Рис.3. Кадр с выделенным движущимся объектом и его частотный спектр

Рассмотренный алгоритм прост в реализации, эффективен и универсален, что делает его ценным инструментом в области компьютерного зрения и обработки сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максим О. Куляс, Олег Л. Куляс, Алексей С. Лошкарев «Использование глобальных характеристик изображений для распознавания образов нейронными сетями», Proc. SPIE 10342, Optical Technologies for Telecommunications 2016, 1034211 (6 апреля 2017 г.); https://doi.org/10.1117/12.2270475.

2. Лошкарев, А.С. Алгоритм детектирования движения в видеопоследовательности [Текст] / А.С. Лошкарев, А.А. Диязитдинова, М.А. Тихонова, Н.Ю. Симонова // Прикладная информатика. – Vol.14. – №6(84). – 2019 – С.80–87.

MOTION DETECTION IN VIDEO SEQUENCES USING FREQUENCY SPECTRUM

Kulyas O.L., Loshkarev A. S.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper discusses an algorithm for detecting motion in a video sequence using Fourier frequency spectrum analysis.

УДК 004.93

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ДАННЫМ КОГЕРЕНТНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ КОНВЕЙЕРА ПРЕДОБРАБОТКИ И ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ

Кришталь К.Е.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Когерентная оптическая рефлектометрия (COTDR), кроме своего прямого назначения, уже много лет применяется для мониторинга протяжённых объектов, например, трубопроводов, заборов охраняемых объектов. При прокладке волоконно-оптических линий связи вдоль автомобильных магистралей COTDR может быть использована для фиксации перемещения транспортных средств по изменениям распределения сигнала в оптическом волокне [1]. При этом сложность анализа интерференционной картины связана с высокой зашумлённостью и изменчивостью сигналов.

Для выделения траектории движения транспортных средств по данным COTDR был разработан конвейер предобработки, включающий нормализацию, фильтрацию, бинаризацию и скелетизацию. Эти операции выделяют информативные структуры в интерференционной картине и позволяют переходить к восстановлению траекторий движения. На заключительном этапе используется линейная аппроксимация траекторий, что формализует движение объектов и упрощает классификацию. Для распознавания объектов применялись наивный байесовский классификатор, случайный лес, SVM, а также нейросетевые модели [2–3]. Пример исходной и обработанной рефлектограммы приведены на рис. 1.

Для проведения исследования был разработан программный комплекс, включающий модуль загрузки и преобразования файлов .rtd, а также модуль выделения линий и аппроксимации траекторий. Для проверки использовались размеченные выборки рефлектограмм. Классические алгоритмы (Canny, метод Хафа, линейная аппроксимация) продемонстрировали высокую точность на малых данных, а нейросетевые модели (LSTM, CNN) обеспечили устойчивость к шуму и сложным сценариям. Разработанный конвейер объединяет преимущества обоих подходов, повышая точность распознавания и устойчивость к шуму по сравнению с традиционными методами обработки данных. Это подтверждает возможность применения системы в интеллектуальном мониторинге автомобильных и железнодорожных дорог.

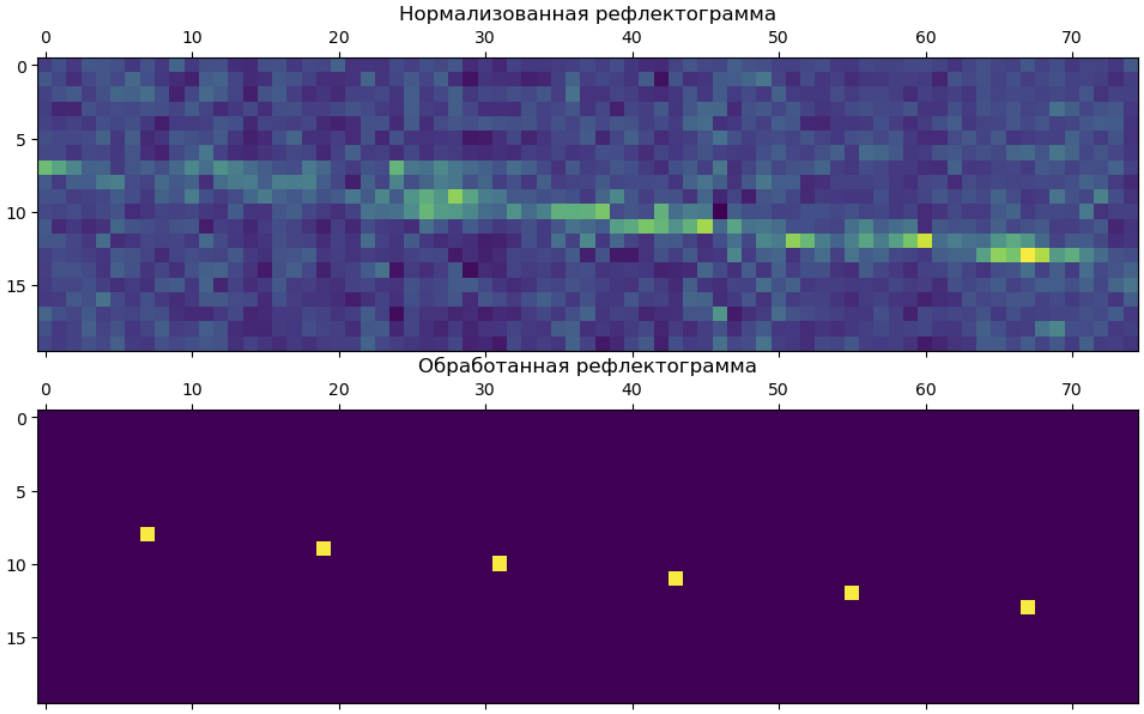


Рис. 1. Предобработка данных когерентной рефлектометрии и линейная аппроксимация траекторий

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45, no. 1. P. 5–32.

2. Cortes C., Vapnik V. Support Vector Networks // Machine Learning. 1995. Vol.20, no. 3. P. 273–297.

3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning// Cambridge: MIT Press, 2016. 775 p.

4. Xu S. et al. Monitoring vehicles on highway by dual-channel φ-OTDR //Applied Sciences. – 2020. – Т. 10. – №. 5. – С. 1839.

VEHICLE DETECTION BASED ON COHERENT REFLECTOMETRY DATA USING A PREPROCESSING PIPELINE AND LINEAR TRAJECTORY APPROXIMATION

Krishtal K.E.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract. The paper presents a software system for vehicle detection using COTDR data. The workflow includes a preprocessing pipeline and linear trajectory approximation combined with machine learning algorithms. Experiments confirmed robustness under noisy conditions. The system is applicable to monitoring of roads and railways.

УДК 621.383

ПОДХОД К ДИЗАЙНУ ФОТОННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕШЁТОК ВВОДА-ВЫВОДА

Степанов И.В., Любопытов В.С., Топольская Е.П.
(Уфимский университет науки и технологий)

В современных разработках в области фотонных интегральных схем (ФИС) для оптической когерентной томографии (ОКТ) для ввода и вывода излучения в/из ФИС, как правило, используются торцевые устройства ввода-вывода [1]. Данный компонент обеспечивает высокую эффективность передачи излучения в широком диапазоне длин волн (более 100 нм), однако для его реализации требуются технология прецизионной полировки торцов и точное позиционирование других компонентов системы, что усложняет изготовление и корпусирование ФИС [2]. Альтернативой торцевому вводу являются решётки ввода-вывода, обеспечивающие, в стандартном исполнении, меньшие эффективность ввода излучения и рабочий диапазон длин волн, однако лишенные указанных технологических недостатков торцевого ввода [3].

Однако, в системах ОКТ необходимо использование широкого диапазона длин волн (порядка 100 нм) [1], поэтому требуется модификация структуры решётки. Для этого было использовано малое количество штрихов решётки, что увеличило её полосу пропускания по уровню 3 дБ. Для компенсации снижения коэффициента передачи была применена аподизация с постоянным шагом решётки [4].

Для расчёта периода решётки Λ используется выражение:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\left(F \cdot n_u + \left(1-F\right) \cdot n_e - \sin\theta\right)},$$

где λ – центральная длина волны, n_u и n_e – эффективные показатели преломления волновода для непротравленной и протравленной областей, соответственно, θ – угол ввода излучения в решётку, F – линейно убывающий коэффициент заполнения решётки.

В рамках работы рассмотрена концепция дизайна ФИС для четырёхканальной системы ОКТ с перестраиваемым источником (рис. 1). Её принцип работы не отличается от ФИС на основе торцевого ввода [5].

Предложенный подход реализации дизайна ФИС может быть использован для систем с большим количеством каналов, что позволит значительно увеличить скорость получения снимков ОКТ. Однако большее число каналов приведёт к большим потерям оптического сигнала, что может быть компенсировано увеличением мощности источника излучения. Помимо этого, применение решёток ввода-вывода потенциально позволяет исключить из системы ОКТ микроэлектромеханические системы, используемые для сканирования тканей, что приведёт к её упрощению, повышению стабильности и надежности.

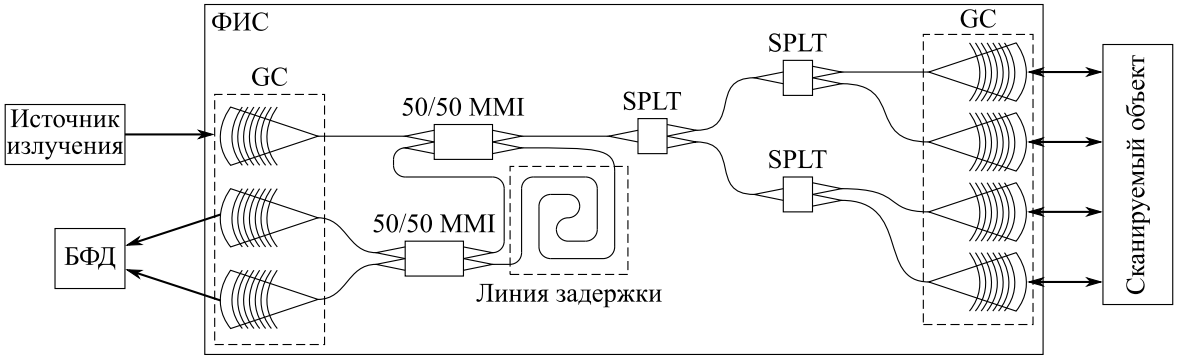


Рис. 1. Концепция дизайна ФИС: БФД – балансный фотодетектор, GC – решётка ввода-вывода; 50/50 MMI – многомодовый направленный ответвитель с коэффициентами деления 50/50; SPLT – делитель оптического излучения

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rank E.A. и др. Miniaturizing optical coherence tomography // Transl Biophotonics. 2022. Т. 4, № 1–2.
2. Barwicz T. и др. Automated, high-throughput photonic packaging // Optical Fiber Technology. 2018. Т. 44. С. 24–35.
3. Cheng L. и др. Grating Couplers on Silicon Photonics: Design Principles, Emerging Trends and Practical Issues // Micromachines. 2020. Т. 11, № 7. С. 666.
4. Marchetti R. и др. High-efficiency grating-couplers: demonstration of a new design strategy // Sci Rep. 2017. Т. 7, № 1. С. 16670.
5. Stepanov I.V. et al. 4-channel SS-OCT system design based on the silicon photonics chip with a high-scale integration // Optical Technologies for Telecommunications 2022 / Ufa, Russian Federation: SPIE, 2023. С. 33.

A DESIGN APPROACH FOR MULTI-CHANNEL OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS USING GRATING COUPLERS

Stepanov I.V., Lyubopytov V.S., Topolskaya E.P.
(Ufa University of Science and Technology)

The paper presents a design concept of an integrated device for a multichannel swept-source optical coherence tomography systems.

УДК 616.832-074.5:543.42

РАМАНОВСКАЯ ЖИДКОСТНАЯ БИОПСИЯ: НОВЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ РАССЕЯННОГО СКЛЕРОЗА

[1]Захаров А.В., [1]Неупокоева А.В., [2]Братченко И.А., [2]Братченко Л.А, [2]Захаров В.П.

([1]СамГМУ Минздрава России, [2]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)

Рассеянный склероз (РС) представляет собой хроническое заболевание, в основе которого лежит аутоиммунное воспаление, направленное против структур центральной нервной системы (ЦНС) [1]. Распространенность данной патологии достигает миллионов случаев по всему миру. РС является одной из наиболее частых причин нетравматической инвалидности среди молодых людей (в возрасте 18-40 лет).

Оптические методы хорошо подходят для решения этой задачи. В частности, спектроскопия комбинационного рассеяния позволяет определять содержание индивидуальных метаболитов в исследуемом образце.

Попытки использовать методы спектрального анализа для диагностики РС были представлены для анализа крови [2] с использованием ATR-Фурье спектроскопии инфракрасного поглощения.

В исследование включено 94 пациента с РС и 30 здоровых добровольцев.

Для анализа спектральных характеристик сыворотки крови была сформирована группа из тридцати условно здоровых добровольцев. Исследование проводили на спектрометре EnSpectr R785 («Спектр-М», Россия) в сочетании с микроскопом ADF U300 («ADF», Китай). Возбуждение спектров осуществляли лазерным излучением с длиной волны 785 нм, что соответствует ближней инфракрасной области.

Данные о специфичности, чувствительности и точности предложенного метода дискриминации представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Способность дискриминационной модели на основе проекций на латентные структуры (PLS-DA) дифференцировать пациентов с неврологической патологией и здоровых доноров по спектральным профилям сыворотки.

Выборка	Специфичность mean (min-max)	Чувствительность mean (min-max)	Точность mean (min-max)
Обучающая	0.99 (0.96 – 1.0)	0.97 (0.96 – 0.99)	0.98 (0.96 – 0.99)
Тестовая	0.96 (0.77 – 1.0)	0.89 (0.72 – 1.0)	0.94 (0.81 – 1.0)

Ранжирование спектральных признаков сыворотки крови по степени их вклада в дискриминацию пациентов с рассеянным склерозом и здоровых лиц в модели PLS-DA представлено на рисунке 1.

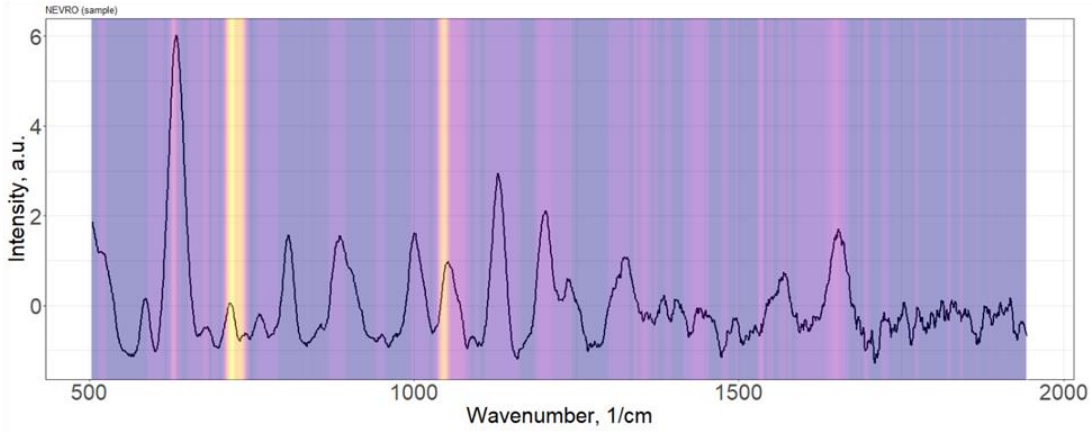


Рис. 1. Распределение вклада спектральных характеристик сыворотки в построение модели дискриминации PLS-DA для пациентов с РС и здоровых испытуемых

В данном исследовании изучено применение метода усиленной поверхностно-рамановской спектроскопии сыворотки крови для выявления РС. Основные Рамановские спектры, позволяющие дифференцировать пациентов с рассеянным склерозом от здоровых людей, были получены в областях 632, 721-735 и 1048-1076 $см^{-1}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Walton C., King R., Rechtman L., Kaye W., Leray E., Marrie R. A. et al. Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS, third edition // Multiple Sclerosis. 2020. Vol. 26, № 14. P. 1816–1821. DOI: 10.1177/1352458520970841.

2. Chrabąszcz K., Kołodziej M., Roman M., Pięta E., Piergies N., Rudnicka-Czerwiec J. et al. Carotenoids contribution in rapid diagnosis of multiple sclerosis by Raman spectroscopy // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects. 2023. Vol. 1867, № 6. P. 130395. DOI: 10.1016/j.bbagen.2023.130395.

RAMAN LIQUID BIOPSY: A NOVEL APPROACH TO MULTIPLE SCLEROSIS DIAGNOSIS

[1]Zakharov A.V., [1]Neupokoeva A.V., [2]Bratchenko I.A., [2]Bratchenko L.A., [2]Zakharov V.P.

([1]Samara State Medical University, Ministry of Health of Russia, [2]Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev)

This study explores the application of surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) of blood serum combined with machine learning (PLS-DA) for the differentiation of multiple sclerosis (MS) patients from healthy individuals. The method demonstrated high diagnostic potential, with mean specificity of 0.96, sensitivity of 0.89, and accuracy of 0.94. Key Raman spectral regions enabling discrimination were identified at 632, 721–735, and 1048–1076 cm^{-1}, suggesting the viability of Raman liquid biopsy as a non-invasive tool for MS diagnosis.

УДК 681.518.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЯРКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Васин Н.Н., Диязитдинов Р.Р., Какабьян К.С.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе рассматривается проблема построения алгоритмов оценки пространственно-яркостных параметров двумерных оптических сигналов, характеризующихся минимальным временем обработки. Целью работы является разработка методологии, которая на основании информации о виде сигнала, оцениваемого пространственно-яркостными параметрами и их рабочими диапазонами, позволяла бы выбрать метод с наименьшей вычислительной сложностью. Результатами являются аналитические формулы для оценки вычислительной сложности методов обработки и рекомендации по выбору метода для модели подобия, включающей 4 пространственных и 2 яркостных параметра. Практическая значимость работы заключается в определении «базового» метода обработки при решении задачи, определяемой по требованиям к оптическому сигналу и его параметрам.

Существенное время при создании алгоритмов обработки изображений тратится на оптимизацию вычислений:

– использование целочисленной математики (классическим примеров является алгоритм Брезенхема или оптимизация для билинейной интерполяции);

– повторное использование ряда параметров при работе в циклах (предварительное вычисление математического ожидания и дисперсии при сравнении векторов друг с другом);

– рекурсивная оценка параметров сигнала при работе со «скользящими окнами» и т.д.

Алгоритмическая оптимизация позволяла решать задачу ускорения вычислений на аппаратном уровне. А для дальнейшего сокращения вычислительной сложности разрабатывались различные методы, построенные на некотором математическом аппарате.

Одной из основных задач при обработке двумерных оптических сигналов является поиск местоположения некоторого известного (информационного) сигнала на анализируемом сигнале. Синонимом поиску являются «обнаружение, распознавание, совмещение, оценка пространственно-яркостных параметров». Суть всех этих терминов заключается в том, что необходимо выдвинуть гипотезы о положении информационного сигнала относительно анализируемого и выбрать некоторую меру и критерий, которые определили, насколько данная гипотеза правдоподобна. Решением будет являться наиболее правдоподобная гипотеза или отказ ото всех гипотез, если вычисленная мера не удовлетворяет некоторым условиям (например, пороговому значению). Подобная постановка

задачи является классической схемой принятия решения для вероятностной модели описания событий.

Одной из основных проблем вероятностной модели является вычислительная сложность пропорциональная количеству гипотез. По этой причине количество гипотез пытаются сократить. И для этой цели формируют различные модели. А на их основе – методы обработки, ориентированные на перебор «усеченного» числа гипотез.

Количество методов, связанных с оценкой пространственно-яркостных параметров, разработано достаточно много. При этом возникает вопрос об их вычислительной сложности в контексте того, что задачи обработки отличаются параметрами (размеров сигналов, перечнем пространственно-яркостных параметров, их рабочим диапазоном).

Может оказаться, что один из методов предпочтительней использовать при одних условиях, а другой метод – при других.

Исследованию данного вопроса посвящена данная работа. В результате планируется разработать методологию для выбора метода обработки в зависимости от параметров задачи.

COMPUTATIONAL COST OF METHODS FOR 2D OPTICAL SIGNALS SPACE-BRIGHTNESS PARAMETERS ESTIMATION

Vasin N.N., Diyazitdinov R.R., Kakabian K.S.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the problem of constructing algorithms for estimating space-brightness parameters of 2D optical signals, characterized by minimal processing time. The aim of the work is to develop a methodology that, based on information about the type of signal, estimated spatial-brightness parameters and their operating ranges, would allow selecting a method with the least computational complexity. The results are analytical formulas for assessing the computational complexity of processing methods and recommendations for choosing a method for a similarity model that includes 4 space and 2 brightness parameters.

УДК 681.518.5

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЯРКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Диязитдинов Р.Р.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одной из проблем при оценке пространственно-яркостных параметров двумерных оптических сигналов является высокая вычислительная сложность, связанная с необходимостью проверки большого числа гипотез, и для этого предложен метод, включающий принципы направленного поиска, распознавание точек интереса и преобразование пирамиды. Результатом работы будет являться тест, показывающий сравнение по времени обработки с известным алгоритмом SIFT (Scale-Invariant Feature Transform, масштабно-инвариантная трансформация признаков), обладающим высокой скоростью обработки. Практическая значимость заключается в сокращении вычислительной сложности задачи оценки пространственно-яркостных параметров, открывающих новые возможности прикладного применения в системах технического зрения реального времени.

Вычислительная сложность алгоритма обработки является краеугольным камнем при разработке систем, ориентированных на работу в режиме реального времени (компромиссное решение между точностью и временем обработки).

В особенности остро проблема стоит для систем технического зрения, входными данными которых являются двумерные оптические сигналы.

Оценка пространственно-яркостных параметров (смещений, угла поворота, коэффициента масштабирования, аддитивная и мультипликативная составляющая) требует проверки большого числа гипотез. Поэтому разработка методов, позволяющих сократить количество вычислительных операций, ведется в настоящее время.

Одним из известных методов, обеспечивающих высокую скорость обработки, является SIFT. Недостаток этого метода заключается в значительном времени расчета дескриптора (описателя) для распознанных точек интереса (особых точек).

В качестве альтернативы предложена разработка метода, у которого также в основе лежат точки интереса. Но вместо того, чтобы предварительно рассчитывать дескрипторы, проводится непосредственное сравнение фрагментов с различными масштабами и углами поворотов. При этом время трнсформации минимизируется за счет алгоритмических приемов: повороты на 90/180/270 градусов, повторное использование ранее рассчитанных математического ожидания и дисперсии. Основной особенностью является сокращение гипотез за счет направленного поиска и преобразования Пирамиды.

В результате исследований будет проведено сравнение времени обработки по количеству верно совмещенных фрагментов.

Если разработанный метод покажет аналогичные результаты в сравнении с SIFT, то это откроет новые возможности по обработке двумерных оптических сигналов в системах технического зрения реального времени.

BOOSTING COMPUTING PERFORMANCE FOR 2D OPTICAL SIGNALS SPACE-BRIGHTNESS PARAMETERS

Diyazitdinov R.R.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

One of the problems in assessing the spatial-brightness parameters of two-dimensional optical signals is the high computational complexity associated with the need to test a large number of hypotheses, and for this purpose a method is proposed that includes the principles of directed search, recognition of points of interest and pyramid transformation. The result of the work will be a test showing a comparison in processing time with the well-known SIFT algorithm, which has a high processing speed. The practical significance lies in reducing the computational complexity of the problem of estimating spatial-brightness parameters, opening up new possibilities for applied use in real-time technical vision systems.

УДК 004.942: 537.876.4

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Колобов А.А., Камалеева А.А., Валеев Б.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Коммерческие пакеты электродинамического моделирования часто характеризуются избыточной сложностью в задачах быстрого прототипирования, а академические решения представляют собой разрозненные вычислительные модели, не обеспечивающие необходимую воспроизводимость результатов и удобство использования. Таким образом, существует потребность в программном инструментарии, сочетающем вычислительную эффективность, физическую строгость и удобство практического применения.

Целью работы является формулировка архитектурных принципов построения программного обеспечения для быстрого прототипирования волоконно-оптических систем в рамках одномерной электродинамической модели. Система должна обеспечивать интерактивное построение произвольных оптических схем из типовых компонентов, расчет их спектральных характеристик и представление результатов в форматах, пригодных для последующего анализа.

В качестве математической основы моделирования выступает аппарат матриц рассеяния, обеспечивающий единообразное описание всех компонентов оптической системы. Данный формализм обладает рядом преимуществ.

Во-первых, элементы матрицы рассеяния имеют непосредственную физическую интерпретацию, что упрощает верификацию результатов и сопоставление с экспериментальными данными. Во-вторых, для пассивных систем элементы матрицы рассеяния описываются ограниченными величинами, что способствует численной устойчивости вычислений. В-третьих, существуют обоснованные правила каскадирования матриц рассеяния для различных типов устройств.

Архитектура программного обеспечения строится на принципе многослойной организации с четким разделением ответственности между уровнями абстракции. Такая структура обеспечивает независимое развитие отдельных подсистем, упрощает тестирование и поддерживает расширяемость решения.

Доменный уровень инкапсулирует математическую модель оптической системы и не содержит зависимостей от технических деталей ее реализации. На данном уровне определяются фундаментальные абстракции: оптические элементы, характеризуемые матрицами рассеяния; порты элементов, представляющие точки входа и выхода оптического сигнала; соединения между элементами, задающие топологию системы; оптическая система как совокупность элементов и связей между ними. Топология оптической системы

формализуется в виде ориентированного графа, вершинами которого являются порты оптических устройств, а ребрами — соответствующие коэффициенты передачи.

Прикладной уровень позволяет организовать процесс вычисления характеристик оптической системы на основе абстракций доменного уровня. Ключевыми функциями данного уровня являются топологический анализ системы, вычисление результирующих характеристик и валидация корректности конфигурации.

Уровень представления предоставляет интерактивную среду для взаимодействия пользователя с системой моделирования. Функциональность данного уровня включает визуальную композицию топологии оптической системы методами интерактивной графики, редактирование параметров элементов через специализированные формы, конфигурирование параметров расчета, визуализацию результатов в виде графиков и таблиц, и отображение результатов валидации с указанием конкретных проблемных элементов.

Уровень представления взаимодействует с прикладным уровнем исключительно через определенные интерфейсы и не имеет прямого доступа к внутренним структурам доменного уровня. Такая изоляция предотвращает нарушение работы физической модели при изменении пользовательского интерфейса и обеспечивает возможность замены технологии представления без модификации вычислительного ядра.

Инфраструктурный уровень предоставляет сквозные сервисы, не содержащие специфической доменной логики и необходимые для функционирования всех вышележащих уровней.

Представленная постановка задачи проектирования программного обеспечения определяет концептуальные рамки создания специализированного инструментария для моделирования каскадированных волоконно-оптических систем. Многослойная организация системы гарантирует разделение математической модели, алгоритмов вычисления и представления результатов, что способствует независимому развитию подсистем и долговременной сопровождаемости такого решения.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева–КАИ («ПРИОРИТЕТ–2030»).

FORMULATION OF THE SOFTWARE DESIGN PROBLEM FOR ELECTRODYNAMIC MODELING OF OPTICAL DEVICES

Kolobov A.A., Kamaleeva A.A., Valeev B.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This work presents the architecture of a software framework for designing cascaded fiber-optic systems in a one-dimensional formulation based on the scattering-matrix formalism, implementing a layered organization with a clear separation of concerns and providing pre-simulation validation, numerical stability, and reproducibility of spectral computations.

УДК 004.942: 537.876.4

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ КАСКАДИРОВАННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Колобов А.А., Камалеева А.А., Валеев Б.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Теория матриц рассеяния позволяет сформулировать универсальную основу для описания взаимодействия электромагнитных волн на границах и интерфейсах оптических устройств. Так, n-портовое устройство характеризуется комплекснозначной матрицей **S** размера $n \times n$, связывающей векторы амплитуд входных **a** и выходных полей **b** на основе уравнения $\mathbf{b} = \mathbf{S} \times \mathbf{a}$, где элементы $S_{i,j}$ являются комплексными коэффициентами передачи от входного порта j к выходному порту i.

При переходе от описания отдельного устройства к моделированию реальной каскадированной системы возникает задача объединения множества локальных матриц рассеяния в целостную модель, в которой учитываются ветвления и слияния оптических путей, фазовые связи между портами и спектральная зависимость элементов матрицы рассеяния [1]. При этом последовательное перемножение соответствующих матриц рассеяния в этом случае дает неверные результаты, поскольку моделирование каскадного соединения нескольких отельных устройств требует явного учета топологии и порядка распространения электромагнитных волн.

Волоконно-оптическая система может быть представлена в виде ориентированного взвешенного графа $G = (V, E)$ (Рис. 1), где вершины соответствуют портам устройств, входящих в систему, а ребра — физическим соединениям, по которым распространяется излучение [2].

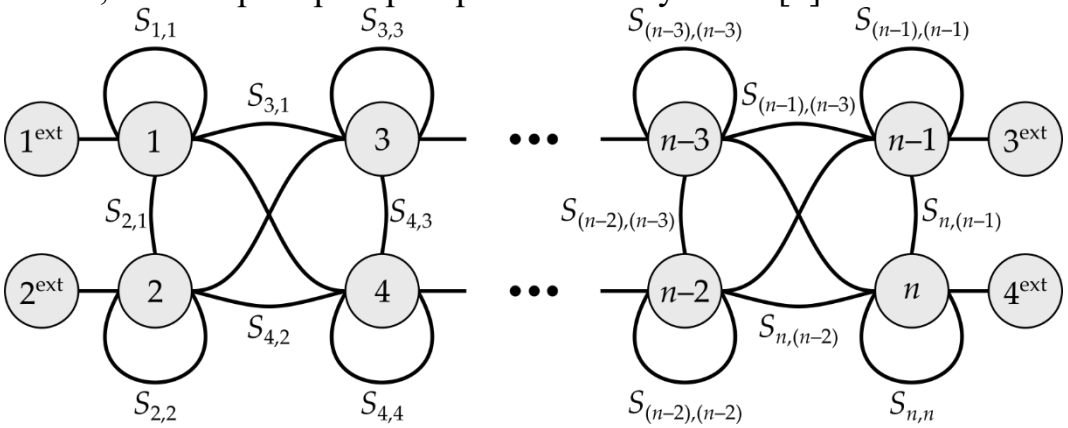


Рис. 1. Схема представления волоконно-оптической системы в виде ориентированного графа

Вес ориентированного ребра $(i \to j)$ принимается равным элементу матрицы рассеяния $S_{j,i}$, а матрица смежности **A** такого графа определяется как $A_{i,j} = S_{j,i}$ при наличии ребра $(i \to j)$ и $A_{i,j} = 0$ — при его отсутствии. Топологическая сортировка позволяет задать порядок расчета таким образом, что поле в любом заданном порту может быть представлено в виде суперпозиции вкладов по всем

ориентированным путям, составленным из ребер графа, исходящим от всех внешних входных портов [1]. Вклад каждого ориентированного пути равен произведению комплексных весов ребер (элементов матриц рассеяния) вдоль этого пути; суммирование по всем путям, исходящим от внешних портов, позволяет получить результирующие значения амплитуды и фазы на выходном порте. Такая постановка задачи эквивалентна исходной матричной формулировке, но позволяет получить физическую интерпретацию эффектов, возникающих в таких структурах.

Представление волоконно-оптических систем в виде графов обеспечивает:

– формулирование формальных критериев физической реализуемости соединений с помощью топологических алгоритмов;

– повышение вычислительной эффективности за счет операций линейной алгебры над разреженными матрицами смежности и локальными матрицами рассеяния.

Предложенная графо-теоретическая модель объединяет топологию сети и волновое распространение в единой вычислительной схеме: локальные матрицы рассеяния интерпретируются как веса ребер, а топологический порядок расчета обеспечивает согласованное распространение по структуре, что позволяет создать практическую основу для масштабируемого моделирования, анализа и оптимизации волоконно-оптических систем.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева–КАИ («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kostrykin, V. The Generalized Star Product and the Factorization of Scattering Matrices on Graphs / V. Kostrykin, R. Schrader // J. Math. Phys. – 2001. – Vol. 42 – Pp. 1563–1598. – DOI: 10.48550/arXiv.math-ph/0008022.

2. Mason, S.J. Feedback Theory-Some Properties of Signal Flow Graphs / S.J. Mason // Proceedings of the IRE. – 1953. – Vol. 41, Iss. 9. – Pp. 1144–1156. – DOI: 10.1109/JRPROC.1953.274449.

GRAPH-ANALYTICAL REPRESENTATION OF CASCADED FIBER-OPTIC SYSTEMS

Kolobov A.A., Kamaleeva A.A., Valeev B.I.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This work presents a graph-theoretic approach to modeling cascaded fiber-optic systems based on the formalism of scattering matrices. Optical components are represented as vertices of a graph, and their electromagnetic interactions are described as weighted directed edges whose weights correspond to complex-valued scattering parameters. This representation expresses the topology of an optical network within a unified mathematical framework, enabling efficient computation of signal propagation, interference, and wavelength-dependent effects.

УДК 537.876.4

ФОРМАЛИЗМ МАТРИЦ РАССЕЯНИЯ И ПЕРЕДАЧИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Камалеева А.А., Валеев Б.И., Сахабутдинов А.Ж.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Оптический четырехполюсник является одним из наиболее распространенных устройств, рассматриваемых при анализе линейных оптических систем. Каждый четырехполюсник можно описать в виде устройства, поддерживающего двунаправленное распространение электромагнитного излучения, причем преобразование полей в нем полностью описывается соотношениями между комплексными амплитудами входящих (a_1^+ и a_2^-) и исходящих (a_1^- и a_2^+) волн, Рис. 1.

Рис. 1. Схема линейного оптического блока

Математическое описание оптических четырехполюсников можно разделить на два взаимодополняющих формализма: теория матриц рассеяния и теория матриц передачи [1].

Матрица рассеяния **S** устанавливает линейное преобразование, связывающее две исходящие (a_1^- и a_2^+) с двумя входящими (a_1^+ и a_2^-) волнами:

$$\begin{pmatrix} a_2^+ \\ a_1^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} \\ S_{2,1} & S_{2,2} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_1^+ \\ a_2^- \end{pmatrix}. \qquad (11)$$

Диагональные элементы матрицы рассеяния описывают коэффициенты отражения для волн, падающих на систему слева и справа соответственно, тогда как недиагональные элементы соответствуют коэффициентам передачи. В случае пассивных оптических систем модули всех элементов матрицы рассеяния принадлежат интервалу от нуля до единицы, что способствует численной устойчивости решения системы.

Матрица передачи **T**, в свою очередь, связывает амплитуды электромагнитного поля справа (a_2^+ и a_2^-) с амплитудами слева (a_1^+ и a_1^-). В отличие от формализма матриц рассеяния (разложение электромагнитного поля на входящие и исходящие компоненты), формализм матриц передачи оперирует понятиями волн, распространяющимися в положительном и отрицательном направлении (относительно направления +z):

$$\begin{pmatrix} a_2^+ \\ a_2^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{1,1} & T_{1,2} \\ T_{2,1} & T_{2,2} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_1^+ \\ a_1^- \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Существуют выражения для преобразования матриц рассеяния **S** в матрицы передачи **T**, и наоборот. Преобразование заключается в смене базиса системы линейных алгебраических уравнений: в случае преобразования (**S**→**T**) соответствует смене базисов (a_1^- и a_2^+) в (a_2^+ и a_2^-) и (a_1^+ и a_2^-) в (a_1^+ и a_1^-), а в случае преобразования (**T**→**S**) соответствует смене базисов (a_1^+ и a_2^-) в (a_1^+ и a_1^-) и (a_1^- и a_2^+) в (a_2^+ и a_2^-):

$$\begin{aligned} (\mathbf{S} \to \mathbf{T}) &= \begin{pmatrix} S_{2,1} - \dfrac{S_{2,2} \cdot S_{1,1}}{S_{1,2}} & \dfrac{S_{2,2}}{S_{1,2}} \\ -\dfrac{S_{1,1}}{S_{1,2}} & \dfrac{1}{S_{1,2}} \end{pmatrix}, \\ (\mathbf{T} \to \mathbf{S}) &= \begin{pmatrix} -\dfrac{T_{2,1}}{T_{2,2}} & \dfrac{1}{T_{2,2}} \\ \dfrac{T_{1,1} \cdot T_{2,2} - T_{1,2} \cdot T_{2,1}}{T_{2,2}} & \dfrac{T_{1,2}}{T_{2,2}} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (13)$$

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева–КАИ («ПРИОРИТЕТ–2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Collin, R.E. Foundations for Microwave Engineering / R.E. Collin. – New York: Wiley-IEEE Press, 2001. – 944 p. – ISBN: 9780470544662.

SCATTERING AND TRANSFER MATRIX FORMALISM IN FIBER-OPTIC LINEAR SYSTEMS

Kamaleeva A.A., Valeev B.I., Sakhabutdinov A.Zh.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Study considers the description of a linear optical two-port in two equivalent formalisms: the scattering matrix **S** and the transfer matrix **T**. The mapping between them is a linear change of basis in the system relating incident and scattered wave amplitudes. Typical use cases are delineated: **S** is convenient for analyzing port reflections and transmissions and is numerically well behaved for passive structures, whereas **T** is natural for cascading components and tracking axial propagation. The two formalisms are methodologically equivalent, with a one-to-one correspondence between them.

УДК 537.876.4

TRANSFER MATRIX FORMALISM AND ITS APPLICATION TO THE DESCRIPTION OF CASCADED OPTICAL SYSTEMS

Kamaleeva A.A., Valeev B.I., Sakhabutdinov A.Zh.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The transfer matrix formalism [1] provides a compact and operationally convenient description of wave propagation through cascaded optical structures that possess a natural left–to–right orientation, such as dielectric multilayers, periodic stacks, and segmented waveguides. Its principal advantage is that the global response of a cascade emerges from a simple algebraic composition rule, which makes it attractive for modeling long sequences of elements with modest reflectivity.

Let a_1^+ and a_1^- denote, respectively, the forward-propagating wave incident on the left port and the backward-propagating wave reflected from that port, and let a_2^+ and a_2^- denote the corresponding amplitudes on the right. In a commonly used convention the transfer matrix $\mathbf{T} \in \mathbb{C}^{2\times 2}$ relates fields across a single two-port via

$$\begin{pmatrix} a_2^- \\ a_2^+ \end{pmatrix} = \mathbf{T} \times \begin{pmatrix} a_1^- \\ a_1^+ \end{pmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_{1,1} & T_{1,2} \\ T_{2,1} & T_{2,2} \end{pmatrix}. \tag{14}$$

This arrangement of variables groups counter-propagating components in a way that treats the element as a transfer from the left side to the right side without explicitly resolving internal reflections at intermediate interfaces. Other equivalent orderings occur in the literature; once a convention is fixed, all elements of a cascade must employ it consistently.

The defining computational property of the transfer formalism is multiplicative composition. If a system consists of N two-port elements, Fig. 1, with transfer matrices $\mathbf{T}_1$, …, $\mathbf{T}_N$ ordered from left to right, the overall transfer matrix is obtained as the ordered product [2]

$$\mathbf{T}^{\Sigma} = \mathbf{T}_1 \times \mathbf{T}_2 \times ... \times \mathbf{T}_{N-1} \times \mathbf{T}_N \,. \tag{15}$$

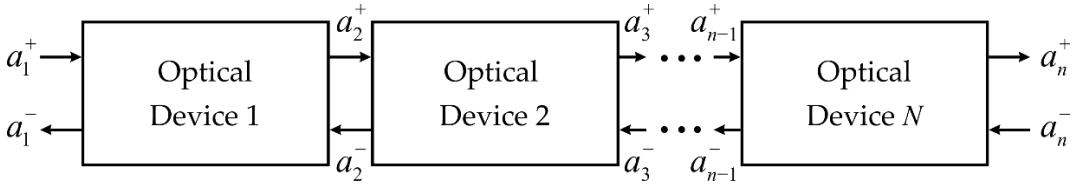


Fig. 1. General structure of a cascade of N optical two-port elements

This formula is exact for linear time-invariant components and shows that the cost of assembling a cascade grows linearly with its length. The same representation naturally accommodates periodic analysis, since the eigenvalues of a unit cell transfer matrix encode Bloch propagation constants; this connection underlies Floquet-type interpretations of layered media and gratings.

Physical interpretation of individual entries of $\mathbf{T}$ is indirect, as they do not coincide with measurable reflection and transmission coefficients. Nevertheless, with

appropriate normalization the transfer matrix inherits global constraints from passivity and reciprocity; for example, in many power-normalized one-dimensional settings a lossless reciprocal element yields a unimodular transfer matrix. From a numerical perspective, the formalism is reliable when transmission through each element remains appreciable, but it becomes fragile in the presence of strong reflectivity. As forward transmission tends to zero, the entries of **T** can grow large even though physical fields remain bounded, and products of many such matrices may be severely ill-conditioned. In long, highly reflective stacks this amplification of round-off error can corrupt the final conversion of the overall transfer description back to physically interpretable scattering data. Multi-mode generalizations replace the scalar amplitudes by mode vectors and the 2×2 blocks by conformable submatrices; the multiplicative rule remains unchanged, while the same conditioning considerations apply with matrix norms and spectral radii in place of scalar magnitudes.

The work was carried out with funding from the Program for Strategic Academic Leadership of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI («PRIORITET–2030»).

REFERENCES

1. Born, M. Principles of Optics / M. Born, E. Wolf. – Oxford: Pergamon Press, 1964. – 852 p. – ISBN: 978-1-108-47743-7.

2. Mackay, T.G. The Transfer-Matrix Method in Electromagnetics and Optics / T.G. Mackay, A. Lakhtakia. – Springer Cham, 2020. – 112 p. – ISBN: 978-3-031-02022-3.

ФОРМАЛИЗМ МАТРИЦ ПЕРЕДАЧИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОПИСАНИИ КАСКАДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Камалеева А.А., Валеев Б.И., Сахабутдинов А.Ж.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В работе рассматривается формализм матриц передачи для описания распространения электромагнитных волн в каскадных оптических структурах. Ключевым преимуществом метода является эффективное получение результирующей матрицы передачи для каскада из N устройств, что обеспечивает линейную вычислительную сложность. Однако, элементы матрицы передачи становятся численно неустойчивыми при высокой отражательной способности устройств — значения элементов матрицы могут неограниченно расти при ограниченных значениях физических полей, что приводит к плохой обусловленности в высокоотражающих структурах с большим числом устройств.

УДК 537.876.4

THE REDHEFFER STAR PRODUCT AND ITS APPLICATION TO THE DESCRIPTION OF CASCADED OPTICAL SYSTEMS

Kamaleeva A.A., Valeev B.I., Sakhabutdinov A.Zh.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The scattering matrix formalism provides a physically transparent representation of optical two-ports because its entries coincide with directly measurable reflection and transmission coefficients. It is therefore a natural language for comparing theory with experiment and for maintaining bounded intermediate quantities when modeling systems that exhibit strong reflectivity or sharp resonances.

Using the same notation for incident and outgoing amplitudes at the left and right ports, the scattering matrix $\mathbf{S} \in \mathbb{C}^{2\times 2}$ is defined by

$$\begin{pmatrix} a_2^+ \\ a_1^- \end{pmatrix} = \mathbf{S} \times \begin{pmatrix} a_1^+ \\ a_2^- \end{pmatrix}, \ \mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} \\ S_{2,1} & S_{2,2} \end{pmatrix}. \tag{1}$$

Here $S_{1,1}$ and $S_{2,2}$ are reflection coefficients for illumination from the left and right, respectively, and $S_{2,1}$ and $S_{1,2}$ are the corresponding transmission coefficients. For passive lossless systems the matrix is unitary, $\mathbf{S}^{\dagger}\times\mathbf{S} = \mathbf{I}$, expressing energy conservation, and for reciprocal systems it obeys $S_{1,2} = S_{2,1}$ in the scalar case or $S_{1,2} = S_{2,1}^{\mathrm{T}}$ in multi-mode settings, expressing time-reversal symmetry. These structural identities regularize the magnitude of entries and are advantageous for numerical treatment.

Direct composition of scattering matrices under cascade does not proceed by ordinary multiplication because internal interfaces generate an infinite sequence of round-trip reflections. The Redheffer star product [1, 2] furnishes an exact algebraic rule that implicitly sums this series while remaining entirely within the scattering formalism. If $\mathbf{S}_1$ and $\mathbf{S}_2$ are the scattering matrices of two elements connected so that the right port of the first is joined to the left port of the second, the effective scattering matrix $\mathbf{S} = \mathbf{S}_1 \star \mathbf{S}_2$ is defined blockwise by

$$\begin{aligned}
S_{1,1} &= S_{1,1}^{(1)} + S_{1,2}^{(1)} \cdot S_{1,1}^{(2)} \cdot \left(I - S_{2,2}^{(1)} \cdot S_{1,1}^{(2)} \right)^{-1} \cdot S_{2,1}^{(1)}, \\
S_{1,2} &= S_{1,2}^{(1)} \cdot \left(I - S_{1,1}^{(2)} \cdot S_{2,2}^{(1)} \right)^{-1} \cdot S_{1,2}^{(2)}, \\
S_{2,1} &= S_{2,1}^{(2)} \cdot \left(I - S_{2,2}^{(1)} \cdot S_{1,1}^{(2)} \right)^{-1} \cdot S_{2,1}^{(1)}, \\
S_{2,2} &= S_{2,2}^{(2)} + S_{2,1}^{(2)} \cdot S_{2,2}^{(1)} \cdot \left(I - S_{1,1}^{(2)} \cdot S_{2,2}^{(1)} \right)^{-1} \cdot S_{1,2}^{(2)}.
\end{aligned} \tag{2}$$

In the scalar case the inverses reduce to division by $1 - S_{2,2}^{(1)} \cdot S_{1,1}^{(2)}$. In multi-mode settings the symbols $S_{ij}^{(k)}$ denote conformable submatrices and I is the identity of appropriate dimension. The inverses appearing here represent the sum of the convergent geometric series of interface round trips; for passive systems the spectral

radius of the internal reflection product is strictly less than unity, ensuring existence of these inverses. In numerical practice the inverses should be implemented as linear solves rather than explicit matrix inversion in order to minimize amplification of floating-point error.

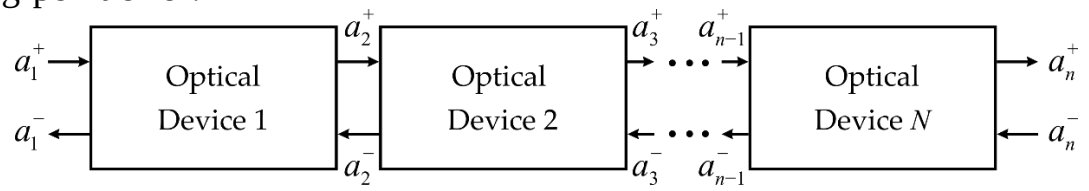


Fig. 1. General structure of a cascade of *N* optical two-port elements

The star product is associative but not commutative, mirroring the physical fact that reordering elements generally changes the device response. Its most important practical feature is numerical stability: all intermediate quantities remain bounded by construction, even when the individual reflections approach unit magnitude, so composition does not suffer from the blow-up that can affect transfer-matrix products. As with the transfer formalism, the scattering description extends naturally to multi-mode devices by promoting each scalar entry to a block that couples modal subspaces; the star-product expressions retain their form with matrix products and solves in place of scalar arithmetic.

The work was carried out with funding from the Program for Strategic Academic Leadership of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI («PRIORITET–2030»).

REFERENCES

1. Redheffer, R.M. Inequalities for a Matrix Riccati Equation / R.M. Redheffer // Journal of Mathematics and Mechanics. – 1959. – Vol. 8, № 3. – Pp. 349–367.

2. Redheffer, R.M. On a Certain Linear Fractional Transformation / R.M. Redheffer // Journal of Mathematics and Physics. – 1960. – Vol. 39, Iss. 1–4. – Pp. 269–286. – DOI: 10.1002/sapm1960391269.

ПРОИЗВЕРЕДЕНИЕ РЕДХЕФФЕРА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОПИСАНИИ КАСКАДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Камалеева А.А., Валеев Б.И., Сахабутдинов А.Ж.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В работе рассматривается метод композиции матриц рассеяния для каскадных оптических систем на основе звездного произведения Редхеффера. Формализм матриц рассеяния обеспечивает физически прозрачное описание, поскольку элементы матрицы соответствуют измеримым коэффициентам отражения и пропускания.

УДК 535.8

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АБЕРРИРОВАННОГО ВОЛНОВОГО ФРОНТА МНОГОКАНАЛЬНЫМ ДИФРАКЦИОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ, СОГЛАСОВАННЫМ С ДЕФОКУСИРОВАННЫМИ ВОЛНОВЫМИ АБЕРРАЦИЯМИ

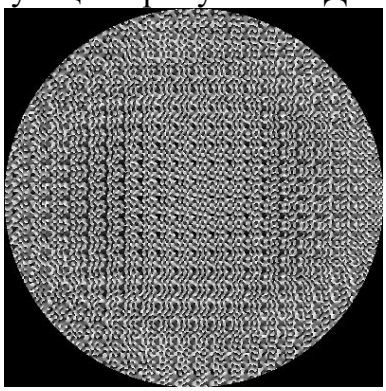
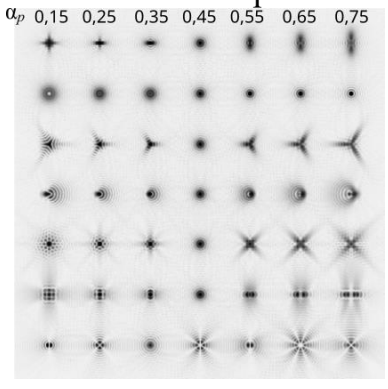
[1]Хорин П.А., [1]Дзюба А.П., [1]Серафимович П.Г., [1,2]Хонина С.Н., [1,2]Казанский Н.Л.
([1]Самарский университет, [2]Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»)

Детектирование оптических аберраций является важной задачей в современных оптических системах, таких как адаптивная оптика, микроскопия и лазерная обработка материалов [1]. Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) представляют собой перспективную альтернативу, позволяющую реализовать компактные и эффективные детекторы и анализаторы волнового фронта. Особый интерес представляют многоканальные ДОЭ, способные одновременно формировать несколько распределений интенсивности в фокальной области [2].

Целью данной работы является численное исследование возможности детектирования аберраций волнового фронта с помощью многоканального ДОЭ, фазовый профиль которого рассчитан с учетом заданного диапазона дефокусирующих волновых фронтов. Внесение дефокусировки позволяет увеличить размер и детализацию картины функции рассеяния точки, что обеспечивает повышение эффективности детектирования аберраций волнового фронта [3]. В качестве модели аберраций использовались полиномы Цернике [4] и фазовые функции Цернике [5]. Для каждого дифракционного порядка параметр дефокусировки варьировался в заданном диапазоне (Таблица 1).

Таблица 1

Функция пропускания ДОЭ и фокальная картина

Функция пропускания ДОЭ	Фокальная картина
	

В серии численных экспериментов (Таблица 2) в каждый дифракционный порядок добавлена дефокусировка типа $\exp[ik\alpha_p r^2]$ с разной оптической силой α_p. Такой подход позволяет регистрировать информацию о фазе волнового фронта в одной плоскости в различных дифракционных порядках с разной величиной дефокусировки. Данный подход не требует смещение элемента, линзы или

камеры вдоль оптической оси и позволяет однозначно восстановить фазу волнового фронта [6] по распределению интенсивности в одной плоскости.

Показано, что многоканальный ДОЭ с внесенной дефокусировкой в каждом дифракционном порядке обеспечивает дополнительную информацию о фазе волнового фронта в пределах заданного диапазона аберраций, что повышает эффективность детектирования аберраций.

Результаты работы открывают перспективы для создания недорогих и надежных систем детектирования и анализа волнового фронта в различных прикладных задачах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10101, https://rscf.ru/project/24-79-10101.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khorin P.A., Dzyuba A.P., Khonina S.N., Optical wavefront aberration: detection, recognition, and compensation techniques – a comprehensive review, Optics & Laser Technology 191, 113342 (2025).

2. Kazanskiy N.L., Khonina S.N., Karpeev S.V., Porfirev A.P. Diffractive optical elements for multiplexing structured laser beams, Quantum Electronics 50(7) 629-635 (2020); https://doi.org/10.1070/QEL17276.

3. George Smith, et al, Effect of defocus on on-axis wave aberration of a centered optical system, J. Opt. Soc. Am. A 23, 2686-2689 (2006).

4. Lakshminarayanan, V. and A. Fleck, Zernike polynomials: a guide, J. Mod. Opt., Vol. 58, No. 7, 545–561 (2011).

5. Khorin P.A., Volotovskiy S.G., Khonina S.N., Optical detection of values of separate aberrations using a multi-channel filter matched with phase Zernike functions, Computer Optics 45(4), 525-533 (2021).

6. T. Latychevskaia and H. W. Fink, Solution to the Twin Image Problem in Holography, Phys. Rev. Lett. 98(23), 233901 (2007).

DETECTION OF AN ABERRATED WAVEFRONT BY A MULTICHANNEL DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENT MATCHED WITH DEFOCUSSED WAVE ABERRATIONS

[1] Khorin P.A., [1] Dzuba A.P., [1] Serafimovich P.G., [1,2] Khonina S. N., [1,2] Kazansky N.L.
([1]Samara National Research University, [2]Image Processing Systems Institute, NRC "Kurchatov Institute")

A new approach to detecting wave aberrations is proposed using a multichannel diffractive optical element (DOE) with additional defocusing in diffraction orders. Two approaches are numerically studied: with the same and different defocusing optical powers in different channels. It is shown that the second approach allows for unambiguous reconstruction of the wavefront phase from the intensity distribution in a single plane without the need for mechanical axial displacement of the elements. The proposed approach opens up prospects for the development of compact wavefront analysis systems for adaptive optics and microscopy.

УДК 535

ГИБРИДНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ TCN-LSTM ДЛЯ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ СЛУЧАЙНОСТИ БИНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТА NIST RUNS

Гарафутдинов А.А., Сибгатуллин М.Э., Арсланов Н.М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр)

Аннотация. В работе предложена схема построения нейронной сети, которая по двоичной последовательности предсказывает, в какой диапазон p-value попадёт тест серий (Runs) из пакета статистических тестов NIST. Задача формулируется как многоклассовая классификация с классами, соответствующими интервалам p-value на отрезке от 0 до 1.

Статистическое тестирование случайности битовых последовательностей является критически важным в таких областях, как криптография и генерация случайных чисел. Одним из ключевых тестов является тест серий (Runs Test), который проверяет, насколько часто биты меняют свое значение, выявляя как излишнюю регулярность, так и неестественную стабильность. Однако прямое вычисление p-value [1] для этого теста может быть вычислительно затратным. В данной работе предлагается использование нейронной сети для быстрого прогнозирования интервала p-value теста серий, что позволяет эффективно оценивать случайность данных.

Задача формулируется как многоклассовая классификация, где классы соответствуют интервалам p-value на отрезке от 0 до 1. Тест серий проверяет случайность битовой последовательности, анализируя частоту смены битов. Результат теста — p-value: низкое значение указывает на неслучайность. Важным условием применения теста является предварительная проверка на равенство долей нулей и единиц.

Разметка данных выполняется автоматически: для каждой последовательности вычисляется p-value по формуле Runs-теста, после чего ей присваивается класс соответствующего интервала. В обучающую выборку включаются как данные с качественных генераторов, так и синтетические последовательности с контролируемыми аномалиями (длинные блоки, периодичность), что повышает устойчивость модели.

Предлагаемая архитектура сочетает два механизма, оптимальных для анализа временных рядов:

1. **Временные свёртки (TCN)** [2]: Выделяют локальные паттерны и зависимости на различных масштабах, устойчивы к временным сдвигам.
2. **LSTM:** Обрабатывает последовательность признаков от свёрток, формируя целостное представление о данных на всём временном окне [3].

На выходе сети используется усреднение и полносвязный слой с softmax для прогнозирования распределения вероятностей по классам-интервалам. Модель компактна и обеспечивает высокую скорость инференса, что позволяет использовать её на ресурсо-ограниченных устройствах, в том числе с

применением квантизации. Обучение проводится с использованием оптимизатора Adam, ранней остановки и контроля на отдельной валидационной выборке. Качество модели оценивается по точности, F1-мере и калибровке вероятностей. Особое внимание уделяется анализу ошибок на границах интервалов.

Обученная модель не заменяет статистический тест, а приближает его, обеспечивая высокоскоростную оценку. Подход демонстрирует точность около 99% и пригоден для онлайн-мониторинга случайности данных и быстрой предварительной оценки.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rukhin A., Soto J., Nechvatal J., Smid M., Barker E., Leigh S., Levenson M., Vangel M., Banks D., Heckert A., Dray J., Vo S. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications. — Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2010. — (NIST Special Publication 800-22 Rev. 1a).

2. Гарафутдинов, А. А. Анализ гиперпараметров сверточной нейронной сети для тестирования распределения последовательностей единиц случайной бинарной выборки // VI Научный форум "Телекоммуникации: теория и технологии" ТТТ-2023: Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Казань, 22–24 ноября 2023 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 2023. С. 180-181.

3. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation, 1997. С. 1735-1780.

A HYBRID TCN-LSTM NEURAL NETWORK MODEL FOR ANALYZING STATISTICAL RANDOMNESS OF BINARY SEQUENCES USING THE NIST RUNS TEST

[1]Garafutdinov A.A., [1], [1]Sibgatullin M.E., Arslanov N.M.

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

The paper proposes a simple and straightforward approach to building a neural network that uses a bit sequence to predict the p-value range for a series test (Runs) from the NIST statistical test package. The task is formulated as a multi-class classification problem with classes corresponding to p-value intervals between 0.01 and 1.

УДК 535

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОСТОБРАБОТКЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

[1]Мавков Д.А., [1,2,3]Сибгатуллин М.Э., [1]Гилязов Л.Р., [1]Арсланов Н.М.
([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казанский квантовый центр КНИТУ КАИ, Казань, Россия,
[2]Академия наук Республики Татарстан, Россия;
[3]Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
sibmans@mail.ru)

В настоящей работе проводится анализ двух подходов к последующей обработке шума, генерируемого оптическим устройством для создания случайных чисел: лексикографического ранжирования и дискретного вейвлет-преобразования. Оба метода способствуют повышению уровня случайности в последовательностях, что подтверждается результатами статистических тестов NIST. Лексикографическое ранжирование позволяет извлекать равномерно распределенные нулевые и единичные значения из исходной последовательности. В рамках исследования числовые ряды сегментируются на блоки фиксированной длины n. Для каждого блока определяется количество единиц k, после чего блоки с идентичным k признаются равновероятными. Нумерация таких блоков осуществляется на основе биномиальных коэффициентов, обеспечивая эффективное присвоение номеров без необходимости хранения полного набора комбинаций [1]. Полученный номер переводится в двоичную систему, а его младшие биты служат в качестве выходных случайных битов, гарантируя равномерное распределение нулей и единиц благодаря эквивалентной вероятности внутри группы. Дискретное вейвлет-преобразование [2] разделяет последовательность на различные масштабы и корректирует коэффициенты на низкочастотных уровнях, минимизируя их влияние и нормализуя спектральную плотность мощности.

Проведенные вычисления демонстрируют, что лексикографическое ранжирование в большинстве случаев превосходит дискретное вейвлет-преобразование по показателям тестов NIST. В тесте LongestRun метод ранжирования обеспечивает стабильный уровень прохождения 98–99% для всех размеров окон, в то время как вейвлет-преобразование дает 1–93%, а исходный шум — 0–84%, что объясняется удалением протяженных серий за счет комбинаторной нумерации. В тесте Runs оба подхода достигают 99–100%, тогда как исходные данные снижаются с 32% до 0%. Для теста Serial ранжирование показывает 97–99%, а вейвлет-преобразование — 93–95%, снижая корреляции, что особенно важно для криптографических задач. Вейвлет-преобразование более успешно справляется с частотными тестами, но проявляет меньшую устойчивость. В тесте FFT средний уровень прохождения для вейвлет-преобразования составляет 93,3%, для ранжирования — 98,5%; при длине подпоследовательности 3000 отсчетов ранжирование дает 99%, а вейвлет-

преобразование — 86%. В тестах Frequency и BlockFrequency оба метода поддерживают 98–100%. В ApproximateEntropy вейвлет-преобразование опережает ранжирование при k=2000 (60% против 10%), однако оба метода обнуляются при k=3000 ввиду снижения энтропии. Тесты NonOverlappingTemplate, OverlappingTemplate, Rank и LinearComplexity остаются близкими к исходным значениям, подтверждая сохранение свойств случайности.

В итоге, лексикографическое ранжирование рекомендуется для криптографических систем благодаря его высокой надежности в тестах на корреляцию и сниженной вычислительной нагрузке. Дискретное вейвлет-преобразование подходит для предварительной коррекции частотных свойств, но многократные итерации ухудшают случайность на протяженных последовательностях. Предлагается комбинированный метод: вейвлет-преобразование для очистки спектра с последующим ранжированием для оптимизации случайности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), рег. № НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Herrero-Collantes M., Garcia-Escartin J.C. Quantum random number generators // Reviews of Modern Physics. 2017. Vol. 89. 015004.

2. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. San Diego: Academic Press, 1999.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF LEXICOGRAPHIC PROCESSING AND DISCRETE WAVELET TRANSFORM IN POST-PROCESSING OF RANDOM SEQUENCES

[1]Mavkov D.A., [1,2,3]Sibgatullin M.E., [1]Gilyazov L.R., [1]Arslanov N.M.

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia;

[2]Tatarstan Academy of Sciences, Russia;

[3]Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia)

Abstract. This study assesses lexicographic processing and discrete wavelet transform for improving randomness in optical random number generator sequences, evaluated via NIST tests. Lexicographic processing uses binomial coefficients to generate uniform binary outputs, achieving 98–99% pass rates in LongestRun and Serial tests. Discrete wavelet transform adjusts low-frequency coefficients but shows artifacts at larger windows. A hybrid approach combining both methods is proposed for cryptographic applications.

УДК 535

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛУЧАЙНОСТИ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ХЕШИРОВАНИЯ ТЁПЛИЦА

[1]Камалов А.И., [1,2,3]Сибгатуллин М.Э., [1]Арсланов Н.М.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр

[2]Академия наук Республики Татарстан,

[3]Институт прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия)

В работе исследуется применение алгоритма хеширования Тёплица для восстановления статистической случайности узкополосных шумовых сигналов. Экспериментальная оценка эффективности метода проводилась на четырёх вариантах полосовых фильтров с различной шириной полосы пропускания (100-900 Гц, 200-800 Гц, 300-700 Гц, 400-600 Гц) при различных длинах битовых последовательностей (500, 1000 и 2000 бит). Качество восстановления случайности оценивалось с помощью комплексного пакета статистических тестов NIST [1].

Методология эксперимента включала генерацию псевдослучайной последовательности длиной 1 миллион отсчётов с частотой дискретизации 2000 Гц в среде Python. Полученный сигнал подвергался фильтрации в четырёх различных полосах частот, после чего к обработанным последовательностям применялся алгоритм хеширования Тёплица [2]. Данный алгоритм основан на операции умножения бинарной последовательности на структурированную матрицу, в которой все диагонали имеют постоянные значения. Для оптимизации вычислительной эффективности матрица преобразовывалась в специальный векторный формат, состоящий из обратного первого столбца и первой строки без начального элемента, что позволило реализовать операцию хеширования через свёртку с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Результаты эксперимента показали, что узкополосная фильтрация, особенно в диапазоне 400-600 Гц, вызывает значительную деградацию энтропийных характеристик сигнала. Это проявлялось в нулевых результатах таких критически важных тестов NIST, как спектральный тест, тест на самую длинную последовательность единиц в блоке и тест на периодичность. Однако применение алгоритма хеширования Тёплица позволило эффективно компенсировать эти негативные эффекты. После обработки алгоритмом показатели большинства статистических тестов приближались к уровням исходного нефильтрованного сигнала, при этом наиболее значительное улучшение наблюдалось именно в тех тестах, где первоначально фиксировались нулевые результаты.

Наиболее сбалансированные результаты были достигнуты при длине битовой последовательности 1000 бит, где после применения хеширования Тёплица показатели практически всех тестов практически полностью

соответствовали характеристикам исходного сигнала. Это свидетельствует об оптимальности данной длины последовательности для использования в сочетании с исследуемым алгоритмом.

Таким образом, алгоритм хеширования Тёплица подтвердил свою устойчивость и эффективность при обработке последовательностей различной длины и может рассматриваться как надёжный метод постобработки сигналов с ограниченным частотным спектром. Практическая значимость исследования заключается в том, что применение данного метода позволяет компенсировать влияние фильтрации и обеспечить успешное прохождение широкого спектра статистических тестов, что делает его особенно перспективным для использования в аппаратных генераторах случайных чисел, где ограничения частотного диапазона обусловлены физической природой источника энтропии.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rukhin, et al., A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications, NIST Special Publication 800-22, Revision 1a, pp. 1–131, 2010.

2. Gray, Toeplitz and Circulant Matrices: A Review, Foundations and Trends in Communications and Information Theory, Vol. 2, No. 3, pp. 155–239, 2006.

RESTORING RANDOMNESS IN NARROWBAND SIGNALS USING TOEPLITZ HASHING

Kamalov A.I., Sibgatullin M.E., Arslanov N. M.

(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan Quantum Center, Kazan, Russia. 2. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 3. Institute of Applied Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia)

The Toeplitz hashing algorithm has demonstrated effectiveness in restoring randomness properties in narrowband noise signals. Experiments show that even after stringent filtering, the method enables processed sequences to recover characteristics close to those of the original signal, ensuring successful passage of NIST statistical tests. This makes the algorithm promising for implementation in hardware random number generators. The method utilizes a structured matrix where all diagonals contain constant values, effectively compressing entropy from the input sequence through matrix multiplication. Its computational efficiency is further enhanced when implemented via Fast Fourier Transform-based convolution.

УДК 004.932

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОДСЧЕТА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОРАЗМЕРОВ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Абдулнагимов А.И., Ахунов О.М.
(Уфимский университет науки и технологий)

Сегодня интеллектуальная обработка изображений используется для детекции, распознавания, классификации и сегментации разных видов объектов. С появлением алгоритмов машинного зрения YOLO (You Only Look Once), где за одну обработку изображения возможно выполнить полный его анализ, в отличие от традиционных методов, которые требуют многократного просмотра частей изображения, открывается возможность распознавать разные виды деталей.

В работе показано, что алгоритм YOLO можно применять для решения задачи определения количества крепежных изделий и их типоразмер, на примере гаек и болтов. Разработка таких алгоритмов анализа и реализация их в виде программного обеспечения позволит повысить производительность труда на предприятиях, перейти на автоматический учет и сократить потери изделий и ошибки при сборке с использованием посторонних деталей.

Был собран набор обучающих и тестовых данных. Фотографии были сняты с разрешением 3024´4032 пикселей, на специально оборудованном столе с белой подложкой и с дополнительным рассеянным освещением. Для обучения использовалась модель Yolov8x с изменением режима детекции с обычных прямоугольников на ориентированные (obb). Такой режим детекции позволяет определять длину болта, в частности размер шляпки и длины стержня. Гиперпараметры модели: эпох - 100, батч - 16, размер изображения – 1080.

Графики train/val loss показывают стабильную сходимость обучения без явных признаков переобучения. Метрики precision/recall и mAP быстро растут и держатся на высоких значениях.

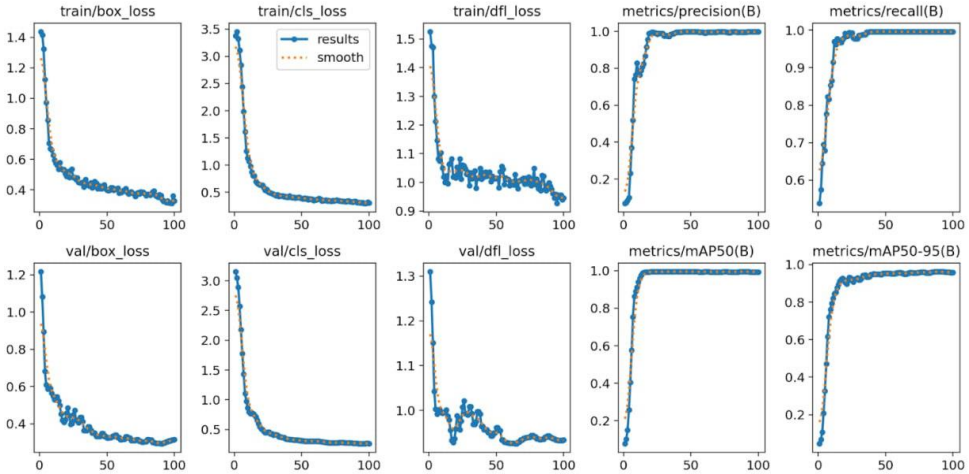


Рис. 1. Результаты обучения модели

Для работы алгоритма разработан графический интерфейс с использованием библиотеки PyQt. Реализованы следующие функции: возможность как работы с изображениями, так и с видео потоком.

Программа позволяет выбирать целевой вид крепежа, отображать лишние крепежи, выводить общую информации о количестве идентифицированных крепежей. Реализована возможность задать габаритные параметры и их допуски для целевого типоразмера болта.

Формулы:

1) Евклидова норма для вычисления длины сторон ориентированного ограничивающего прямоугольника (obb):

$$\text{edge} = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}.$$

2) Определение размеров болта:

$$L = \max(\text{edge}_1, \text{edge}_2),$$
$$W = \min(\text{edge}_1, \text{edge}_2).$$

Длина — максимальная, ширина — минимальная из четырех сторон ограничивающей рамки.

3) Пиксельная калибровка:

$$L_{\text{mm}} = L_{\text{px}} \cdot k,$$
$$W_{\text{mm}} = W_{\text{px}} \cdot k.$$

Преобразование пиксельных координат в миллиметры через коэффициент k (пиксели/мм).

4) Проверка допусков:

$$\Delta L = |L_{\text{mm}} - L_{\text{target}}|,$$
$$\Delta W = |W_{\text{mm}} - W_{\text{target}}|,$$
$$\text{valid} = (\Delta L \le T_L) \wedge (\Delta W \le T_W).$$

Болт соответствует типоразмеру при выполнении обоих условий по допускам.

Имеется возможность заполнения параметров в опции “Настройки типоразмера” с помощью базы шаблонов. Программа позволяет выводить информацию о рассчитанном количестве подходящих болтов.

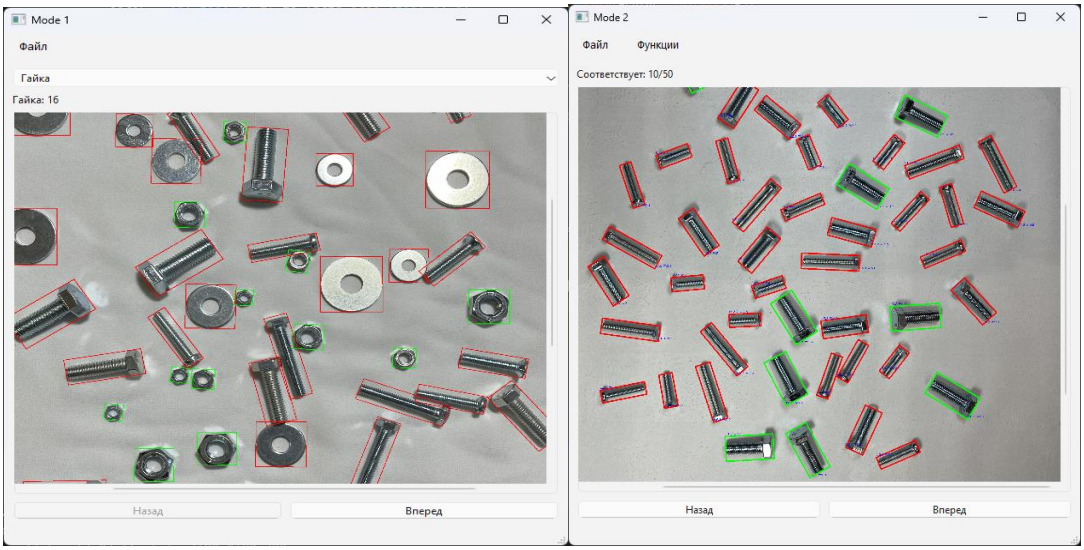


Рис. 2. Интерфейс программы и результаты работы алгоритма

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jocher, G., Chaurasia, A., Qiu, J. Ultralytics YOLOv8. — Ultralytics, 2023. — https://github.com/ultralytics/ultralytics

2. Bradski, G., Kaehler, A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. — O'Reilly Media, 2008. — 580 p

3. Summerfield, M. Rapid GUI Programming with Python and Qt: The Definitive Guide to PyQt Programming. — Prentice Hall, 2015. — 648 p

4. Ren, S., He, K., Girshick, R., Sun, J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2015. — Vol. 28. — P. 91-99

IMAGE INTELLIGENCE FOR COUNTING AND DETERMINING FASTENER SIZE

Abdulnagimov A.I., Akhunov O.M.

[1]Ufa University of Science and Technology)

This study focuses on developing an algorithm based on the YOLOv8n model for automatically counting and identifying fastener types (nuts and bolts). The proposed method utilizes oriented detection, enabling precise measurement of bolt head and shank dimensions. The algorithm is implemented as a program with a graphical interface that can work with both single images and video streams.

Секция 4. Техническое обслуживание, контроль и восстановление оптических сетей связи

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И РАДИУСА ИЗГИБА

Попов Б.В., Попов В.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В процессе инсталляционных работ, а также в ходе технической эксплуатации кабельной инфраструктуры волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) оптические кабели (ОК) неизбежно подвергаются изгибам различного характера. На этапе монтажа ОК и оптических муфт (ОМ) предъявляются строгие требования к критическим значениям допустимого радиуса изгиба ОК, а также допустимому диапазону температур [1]. В связи с этим актуальной задачей является исследование деградации оболочки ОК при многократных изгибах в условиях различных температурных режимов, в особенности для пониженных температур. В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований степени деформации и величины остаточных деформаций внешней оболочки ОК в зависимости от радиуса изгиба ОК, которые проводились на образцах самонесущих оптического кабеля типа ОКЛЖ производства ЗАО «Самарская кабельная компания».

Основным фактором деградации являются значительные локальные температурные воздействия на внешнюю оболочку ОК в процессе герметизации портов ОМ при использовании термоусаживаемых трубок (ТУТ) [2]. В зависимости от применяемого оборудования и качества ТУТ степень температурного воздействия может быть значительной. При этом известен факт снижения прочности полиэтилена при воздействии высоких температур, что свидетельствует о высокой вероятности снижения стойкости ОК при изгибных нагрузках. Для исследования данного фактора воздействия были выполнены экспериментальные исследования на образцах самонесущего ОК марки ОКЛЖ с различными значениями допустимой растягивающей нагрузки (40 кН, 20 кН и 7 кН). Испытания производились для различных условий: при средней температуре 22 °С и при пониженной -20 °С, а также при использовании ТУТ и при монтаже «холодным» способом.

В результате были сделаны выводы о снижении стойкости ОК к многократным изгибам из-за увеличения жесткости кабеля при пониженных температурах. А также продемонстрирована деградация полиэтиленовой оболочки ОК после воздействия высоких температур при усадке ТУТ в условии изгибных воздействий. При радиусах изгиба кабеля менее допустимого значения защитная полиэтиленовая оболочка начинает значительно деформироваться, и деформация может достигать 20-30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи : учебное пособие. Том 2: Проектирование, строительство и техническая эксплуатация // Москва: Горячая линия-Телеком, 2010. 424 с.
2. Алехин И.Н., Бурдин В.А., Нижгородов А.О., Попов В.Б. Технология монтажа муфт подвесного оптического кабеля в условиях низких отрицательных температур: учебное пособие // Самара: ПГУТИ, 2022. 102 с.

STUDYING OPTICAL CABLE DEFORMATIONS DEPENDING ON TEMPERATURE AND BENDING RADIUS

Popov B. V., Popov V. B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This study investigates the bending resistance of self-supporting optical cables (OKLZh type) under repeated bending at normal (+22°C) and low (-22°C) temperatures, as well as after local thermal exposure simulating the "hot" installation of splice closures using heat-shrinkable tubes. Experimental tests on cable samples (OKLZh-40, OKLZh-20, OKLZh-7) showed that both a decrease in ambient temperature and the heating of the polyethylene sheath during tube shrinkage reduce the cable's resistance to bending. When the bending radius falls below the permissible limit, significant deformation of the protective sheath occurs, reaching 20-30%.

УДК 621.315

ВЫТЯГИВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ИЗ ОПТИЧЕСКОЙ МУФТЫ В КАБЕЛЯХ ОДНОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Попов Б.В., Попов В.Б.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В процессе эксплуатации подвесных ВОЛП часто возникает проблема «вытягивания» оптических волокон (ОВ) из муфты обратно в кабельный модуль. Это приводит к случайным изгибам волокон внутри муфты, образованию микроизгибов с критически малым радиусом, деградации передающих параметров и росту механических напряжений. Как следствие, происходит ускоренное старение ОВ, локальный рост затухания в муфтах, необходимость их повторного монтажа и значительные финансовые затраты. Проблемы «вытягивания» ОВ из оптической муфты в одномодульном подвесном кабеле широко обсуждаются специалистами, занимающимися их эксплуатацией, а также специалистами кабельных заводов, занимающихся выпуском данной продукции [1].

В докладе представлен сравнительный анализ конструкций подвесных кабелей. Показано, что самонесущие кабели модульной конструкции с силовыми элементами из высокомолекулярных арамидных нитей обладают преимуществами перед кабелями с центральным модулем. Установлено, что для одномодульного оптического кабеля подвесного типа явление «вытягивания» ОВ обусловлено влиянием силы натяжения. Доказано, что предотвратить проблему позволяет корректно рассчитанная избыточная длина волокон в кабеле и наличие необходимого технологического запаса кабеля у муфты. Сформулированы практические рекомендации по защите от «вытягивания» волокон из муфты в модуль при технической эксплуатации ВОЛП с использованием одномодульных кабелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боев М. А., Кузнецов А. Ю. Исследование механических свойств кабелей с центральным оптическим модулем. «Кабели и провода», № 6 (313), 2008 г. с. 24-27.

PULLING OPTICAL FIBERS FROM AN OPTICAL JOINT IN CABLES OF A SINGLE-MODULE DESIGN

Popov B.V., Popov V.B.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The report analyzes the operational problem of optical fibers being "pulled" from a splice closure into a suspended cable's central tube, leading to micro-bends, signal loss, and costly repairs. It identifies tensile load as the root cause and demonstrates that

self-supporting cables with aramid strength members are superior to central-tube designs in preventing this issue. The solution is ensuring correct fiber excess length and adequate cable slack at the closure. Practical mitigation recommendations are provided.

Секция 5. Нанофотоника и квантовые коммуникации

УДК 537.876.46

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИЧЕСКОГО КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ МОД В ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Киселев Д.А., Осипов О. В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Использование метаматериалов в оптических линиях передачи и их отрезках позволяют создавать частотно и поляризационно селективные устройства с широкими функциональными возможностями. Это связано с возможностью распространения в них волн с круговыми поляризациями с различными фазовыми скоростями. В частности, использование пространственно несимметричных метаатомов позволяют создавать метаматериалы с ярко выраженными киральными свойствами и, как следствие, достигать высокой оптической активности. Одним из основных применений киральных метаматериалов в оптике является их использование при разработке устройств для управления поляризацией оптических волн. В данной работе рассматривается модель кирального метаматериала, с учетом дисперсии показателя преломления $n(\omega)$ и параметра киральности $\chi(\omega)$ [1, 2]. Как известно, для увеличения параметра киральности используются металлические частицы зеркально асимметричной формы (двойные разомкнутые кольца, S-частицы и т.п.). В данной работе рассматривается метаматериал, состоящий из равномерной матрицы хаотически ориентированных метаатомов в виде двойных взаимоортогональных S-частиц с линейными размерами, гораздо меньшими длины волны. Такие частицы являются киральными и представляют собой связанную совокупность электрических и магнитных диполей. Также следует заметить, что подобные частицы являются резонансными. В работе были получены и исследованы зависимости резонансных частот от линейных размеров частиц, а также частотные зависимости показателя преломления и параметра киральности. Для построения модели оптически активной среды использовалась формула Кондона для $\chi(\omega)$. Можно заметить, что в подобных структурах возникают резонансы, связанные как с диэлектрическими, так и с киральными свойствами метаматериала.

Также в работе произведен расчет постоянных распространения собственных волн метаматериала с право (R) и левокруговыми (L) поляризациями:

$$\gamma^{(R,L)}(\omega)=\frac{2\pi}{\lambda}\left[n(\omega)\pm\chi^2(\omega)\right],$$

где λ – длина оптической волн в метаструктуре.

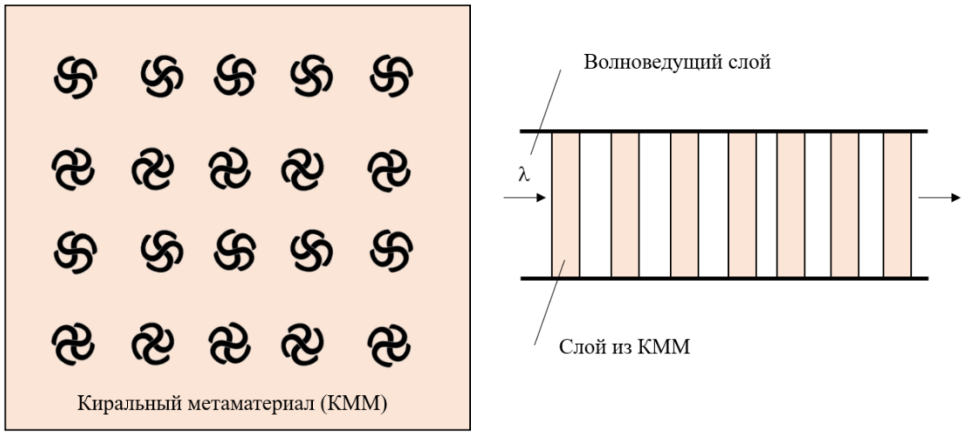


Рис. 1. Общая схема волноводной структуры и конфигурация двойного S-элемента

В работе доказано, что периодическое расположение слоев на основе киральных метаатомов в планарном оптическом волноводе позволяет создать оптическое устройство для преобразования поляризации оптической волны. При этом возможны различные режимы работы метаструктуры с переключением линейных, круговых и эллиптических поляризаций. Общая схема волноводной структуры и конфигурация двойного S-элемента показана на рис. 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhao R., Koschny T., Soukoulis C.M. Chiral metamaterials: retrieval of the effective parameters with and without substrate. Optics express. 2010. V. 18. № 14. P. 14553-14567.

2. Sung Sun O., Хесс О. Хиральные метаматериалы: усиление и контроль оптической активности и кругового дихроизма. Nano Convergence 2. V. 24 (2015). https://doi.org/10.1186/s40580-015-0058-2.

MATHEMATICAL MODEL OF AN OPTICAL CHIRAL METAMATERIAL FOR POLARIZATION PROPERTIES CONTROLLING OF WAVEGUIDE MODES

Kiselev D. A., Osipov O. V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the using optic chiral metamaterials created on the set of uniform matrices of conducting resonant double-S-particles with linear dimensions much less than optical wavelength. The main attention is paid to the requirements for mathematical models of chiral metamaterial based on double-S-particles, in particular, to taking into account spatial dispersion, chirality dispersion. The work proves that the periodic arrangement of layers based on chiral meta-atoms in a planar optical waveguide makes it possible to create an optical device for converting the polarization type of an optical wave.

УДК 530.145.1: 681.787.2

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ КАЛМАНА В КВАНТОВЫХ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЙ

Гребешков А.Ю.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Работа посвящена аспектам применения фильтров Калмана при организации квантовых сетей и приложений квантовых сетей. В фильтрах Калмана используются матрицы пространства состояний и начальные значения наблюдений, которые являются основой для предсказания периода изменения, реального значения сигнала. Также применяется модель управления для описания и представления влияния помех на состояние измеряемого или контролируемого объекта, для чего применяется модель помехи, которая воздействует на управляющие воздействия. Общая модель может быть выражена следующим образом:

$$\mathbf{x}_{k|k-1} = f_k\left(\mathbf{x}_{k-1}, v_k\right) + b_k\left(\mathbf{u}_k, \eta_k\right), \quad (1)$$

где $\mathbf{x}_{k|k-1}$ есть предсказываемое *k*-е состояние для предшествующего k-1 состояния; $\mathbf{x}_{k-1}$ есть состояние, которое является предыдущим для *k*-го состояния; $f_k\left(\mathbf{x}_{k-1}\right)$ есть функция перехода из *k*-1 состояния в *k*-е состояние; $\mathbf{u}_k$ есть вектор параметров управления; $b_k\left(\mathbf{u}_k\right)$ есть функция управления процессом перехода; v_k есть параметр шума для перехода (помеха процесса управления); η_k есть параметр шума для матрицы управления (помеха процесса).

Оценка параметров и переменных состояния в квантовых системах является более сложной, чем в классических системах. Учитывая наличие слабых квантовых эффектов, квантовых флуктуаций и квантовой запутанности, требуется создание модели эволюции переменных состояния или параметров, что само по себе представляет существенную проблему [1]. В квантовых системах состояние рассматривается как эволюция «условного квантового состояния» на основе наблюдений и требуется получить оптимальную оценку переменных или параметров состояния. Решение этой проблемы определяет теория квантового непрерывного измерения. Здесь эволюцию или траекторию изменения состояния квантовой системы при непрерывных измерениях можно описать следующим стохастическим основным уравнением (Stochastic Master Equation, SME) [2, 3]:

$$d\rho_c = -\frac{i}{\hbar}\left[H, \rho_c\right]dt + \mathrm{D}\left[c\right]\rho_c dt + \mathrm{H}\left[c\right]\rho_c d\omega \quad (2)$$

где ρ_c есть квантовое состояние, обусловленное результатами измерения; c есть оператор, определяемый процессом измерения Гермитиан (Hermitian); $H\left[...\right]$ есть есть гамильтониан, представляющий эволюцию квантового состояния;

$\mathrm{D}[c]\rho_c dt$ есть описание декогеренции, вызванной измерениями где $\mathrm{D}[c]\rho_c$ есть супероператор Линдблада (Lindblad); $\mathrm{H}[c]$ есть супероператор; $d\omega$ есть приращение Винера, которое обозначает гауссово приращение, введенное непрерывными измерениями. Можно получить условное квантовое состояние, в каждый момент времени, решая уравнение (2), а затем получить оптимальный оценщик любой физической величины. Однако точное решение выражения (2) затруднительно. В частном случае, для квантового гармонического осциллятора при k измерениях имеет место система уравнений:

$$dx = \frac{p}{m}dt \tag{3}$$

$$dp = -m\omega_0^2 x dt + \sqrt{2k}\hbar d\omega_c \tag{4}$$

$$Q_c dt = 4kx dt + \sqrt{2k}d\omega_0 \tag{5}$$

где существует коммутативное соотношение $[\hat{x},\hat{p}] = i\hbar$, причем x, p есть канонические сопряженные переменные; $m \in [a,b]$, где $[a,b]$ есть диапазон предполагаемого результата; ω_0 есть переходная частота атома; ω_0 есть частота поля моды. С учетом (3)-(5) можно сделать вывод о том, что ожидаемые значения операторов в квантовых системах измерений заменяются классическими переменными, а эволюция второго момента в SME становится среднеквадратичной ошибкой оценки в классическом фильтре Калмана. Однако это относительное сходство имеет место только в том случае, если динамические переменные являются каноническими координатами, которые эволюционируют в линейной квантовой системе с начальным гауссовым состоянием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kezhao Ma et al. Review of the applications of Kalman filtering //. Quantum Systems Symmetry. 2022. Vol. 14. P. 2478.

2. Jacobs, K. Quantum measurement theory and its applications / Cambridge University Press. 2014. 544 p.

3. Jacobs, K., Steck, Daniel A. A straightforward introduction to continuous quantum measurement // Contemporary Physics. 2006. Vol. 47, no. 5, P. 279-303.

APPLICATION OF KALMAN FILTERS IN QUANTUM MEASUREMENT SYSTEMS

Grebeshkov A.Y.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The principle of replacing the expected values of operators in quantum measurement systems with classical variables in Kalman filters is discussed.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА НА КРОВАТИ. ФОТОННАЯ ЧАСТЬ

Муратов Р.М., Морозов О.Г., Силантьева А.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Для предупреждения падения пациентов, проходящих реабилитацию, с кровати вдоль матраса расположен ряд датчиков консольного типа, сверху и снизу которых закреплены двухкомпонентные адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС) [1,2]. На рис. 1,а упрощенно приведен спектральный отклик двух параллельных АВБС в невозмущенном состоянии (без давления пациента, находящегося не на краю кровати), для верхней пары (сплошная линия) и нижней пары (штрих-пунктирная линия), соответственно с центральными $\omega_{Б1,2} = \omega_{Б3,4}$ и адресными $\Delta\omega_{Б1,2} \neq \Delta\omega_{Б3,4}$ частотами.

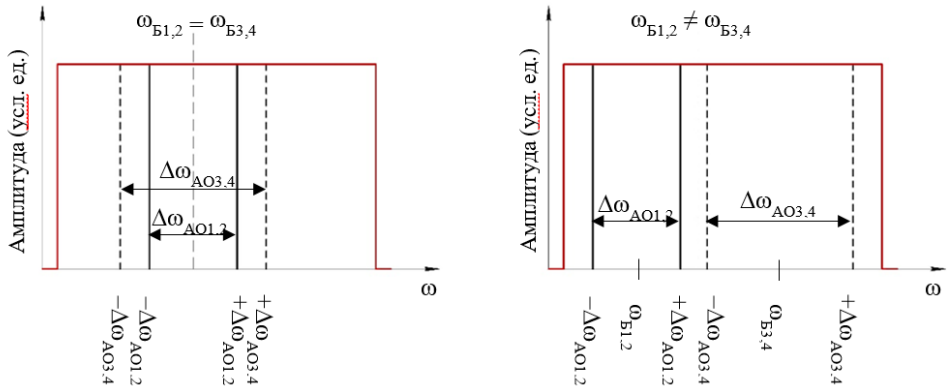


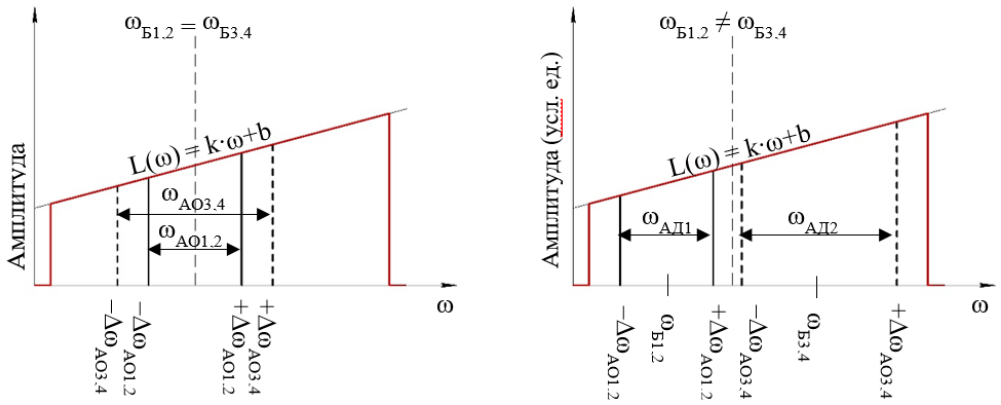
Рис. 1. Упрощенная спектральная характеристика отклика верхней и нижней АВБС: в невозмущенном состоянии (а) и при воздействия пациента (б)

На рис. 1,б приведен спектральный отклик этих же двух пар при возникновении силы **F** – при расположении пациента в зоне датчика. Это объясняется тем, что нагрузка на датчик приводит к увеличению периода компонент $АВБС_{1,2}$ за счет растяжения и уменьшению периода компонент$АВБС_{3,4}$ за счет сжатия.

Для реализации радиофотонного опроса указанные составляющие должны пройти оптический фильтр с наклонной линейной характеристикой (ОФНЛХ):

$$L(\omega) = q\omega + b, \qquad (1)$$

где параметры угла наклона q фильтра и смещения его центральной частоты b, выбираются, исходя из параметров измерительной системы, и считаются известными. Изменение спектральных характеристик откликов двух АВБС, прошедших через ОФНЛХ, приведены на рис. 2. На выходе фотоприемника оцифруем огибающую биений и по показаниям двух программных фильтров на адресных частотах и определим положение $\omega_{Б1,2} \neq \omega_{Б3,4}$.



(а) (б)

Рис. 2. Упрощенная спектральная характеристика отклика верхней и нижней АВБС после ОФНЛХ: невозмущенное состояние (а); при воздействии пациента (б)

Тогда получим разность центральных брэгговских частот как функцию давления пациента, выраженных через силу, приложенную к консольному датчику:

$$\omega_{Б1,2} - \omega_{Б3,4} = \Phi(\mathbf{F}) = M_{Б1,2} / M_{Б3,4}\,, \qquad (2)$$

где $M_{Б1,2}$ и $M_{Б3,4}$ – коэффициенты модуляции для огибающих биений адресных составляющих первой и второй АВБС. Все датчики объединены в радиофотонную систему и мультиплексированы по адресным частотам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

2. Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев [и др.] Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 2 (62). С. 57-73.

3. Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев [и др.] Радиофотонные квазираспределенные адресные сенсорные системы мониторинга и технического диагностирования состояния трубопроводов электростанций // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2025. Т. 5. № 2. С. 52-68.

MICROWAVE PHOTONIC SYSTEM FOR MONITORING THE PATIENT'S POSITION ON THE BED. THE PHOTONIC PART

Muratov R.M., Morozov O.G., Silantieva A.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

Microwave photonic system to prevent patients from falling out of bed is proposed, based on cantilever sensors with addressable fiber Bragg structures.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА НА КРОВАТИ. РАДИОЧАСТОТНАЯ ЧАСТЬ

Муратов Р.М., Морозов О.Г., Силантьева А.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Для обработки сигналов фотонной части системы введем коэффициент модуляции для огибающей биений адресных составляющих АВБС [1, 2]:

$$M'_{\text{Б1,2}} = \frac{2T'_{R1,2-}T'_{R1,2+}}{T'^{2}_{R1,2-} + T'^{2}_{R1,2+}},\ M'_{\text{Б3,4}} = \frac{2T'_{R3,4-}T'_{R3,4+}}{T'^{2}_{R3,4-} + T'^{2}_{R3,4+}}. \quad (1)$$

Получим выражение для коэффициента модуляции, связывающее брэгговскую и основную разностную частоту обеих пар и параметры ОФНЛХ q и b:

$$M'_{\text{Б1,2}}(\omega_{\text{Б1,2}}) = \frac{(q\omega_{\text{Б1,2}} + b)^2 - q^2\Omega_{\text{AO1,2}}{}^2}{(q\omega_{\text{Б1,2}} + b)^2 + q^2\Omega_{\text{AO1}}{}^2},$$
$$M'_{\text{Б3,4}}(\omega_{\text{Б3,4}}) = \frac{(q\omega_{\text{Б3,4}} + b)^2 - q^2\Omega_{\text{AO3,4}}{}^2}{(q\omega_{\text{Б3,4}} + b)^2 + q^2\Omega_{\text{AO3,4}}{}^2}. \quad (2)$$

Величины брэгговских частоты $\omega_{\text{Б1,2}}$ и $\omega_{\text{Б3,4}}$ меняются как результат приложения силы в диапазоне $(\omega_{\text{Бmin}},\omega_{\text{Бmax}})$, который определяются параметрами системы. При этом монотонность коэффициентов модуляции (2), позволяет однозначно связать брэгговские частоты $\omega_{\text{Б1,2}}$ и $\omega_{\text{Б3,4}}$ с их величиной. Отметим, что величины коэффициентов модуляции (2) содержат полную информацию, необходимую для определения брэгговских частот $\omega_{\text{Б1,2}}$ и $\omega_{\text{Б3,4}}$.

Задача может быть упрощена при известных начальных условиях и частоте при отсутствии воздействия. Тогда коэффициент модуляции при $\omega_{\text{Б1,2}}=\omega_{\text{Б3,4}}$ можно считать равным 1 в силу равенства амплитуд составляющих, формирующих обе адресные частоты. Такое отношение не изменит сильной нелинейности коэффициента модуляции, но, если взять в знаменателе (2) амплитуды соответствующих им составляющих, формирующих адресные частоты с равными амплитудами, получим нормированный коэффициент модуляции. Построим измерительную характеристику системы контроля собственных колебаний ТП по нормированному коэффициенту модуляции:

$$M^{\text{Н}}_{\text{Б1,2;Б3,4}}(\omega_{\text{Б1,2;Б3,4}}) = \frac{(q\omega_{\text{Б1,2;Б3,4}} + b)^2 - q^2\Omega_{\text{AO1,2;AO3,4}}{}^2}{T^2_{\text{R1,2;R3,4}}}. \quad (3)$$

На рис. 1 показан пример зависимости нормализованного коэффициента модуляции: нормализованный коэффициент модуляции $M^{\text{Н}}_{\text{Б1,2;Б3,4}}(\omega_{\text{Б1,2;Б3,4}})$ (зеленая и пурпурная линии) и силы воздействия пациентов, определенных через сдвиг брэгговских частот АВБС и выраженных в усл. ед., в диапазоне $\omega_{\text{Б}}\in(\omega_{\text{Бmin}},\omega_{\text{Бmax}})$, соответствующих полному диапазону измерения колебаний.

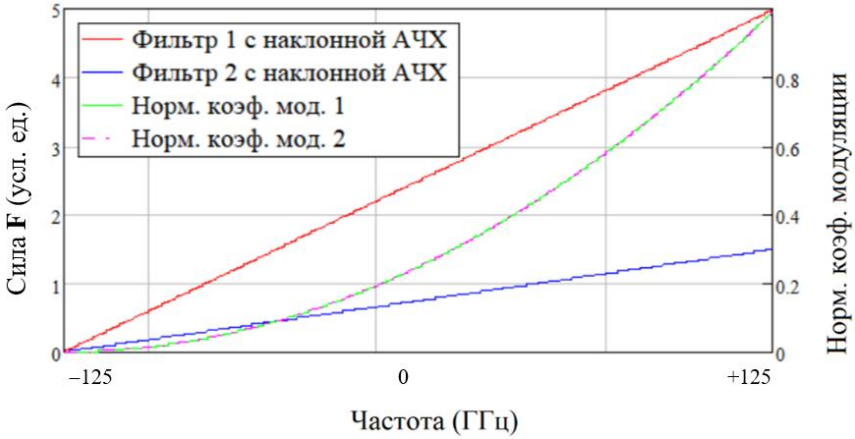


Рис. 1. Зависимость силы воздействия пациента и нормализованного коэффициента модуляции от сдвига центральной брэгговской частоты АВБС для двух ОФНЛХ

На рис. 1 дополнительно показаны характеристики двух ОФНЛХ с различными характеристиками, что позволяет измерять силу воздействия пациента в разных диапазонах. Для ОФНЛХ1 сила может достигать 5 усл. ед., а для ОФНЛХ2 – 1,5 усл. ед. При этом показано, что значения нормализованного коэффициента модуляции совпадают для обоих ОФНЛХ. Таким образом, нормализованный коэффициент модуляции при любых $q \neq 0$ позволяет использовать его для определения смещения $\omega_{Б1,2;Б3,4}$ с одинаковой разрешающей способностью [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

2. Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев [и др.] Комбинированные двухкомпонентные многоадресные волоконные брэгговские структуры // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 2 (62). С. 57-73.

3. Р.Ш. Мисбахов, Е.В. Куликов, В.И. Артемьев [и др.] Радиофотонные квазираспределенные адресные сенсорные системы мониторинга и технического диагностирования состояния трубопроводов электростанций // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2025. Т. 5. № 2. С. 52-68.

MICROWAVE PHOTONIC SYSTEM FOR MONITORING THE PATIENT'S POSITION ON THE BED. THE RADIOFREQUENCY PART

Muratov R.M., Morozov O.G., Silantieva A.A.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This work introduces a normalized modulation coefficient for processing signals in a photonic system, enabling the determination of Bragg frequencies and applied force.

УДК 621.383

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ МНОЖЕСТВА ЛОКАЦИОННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ РАДИОФОТОННЫМ МЕТОДОМ

Потапов Г.С., Морозов О.Г., Нуреев И.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Для измерения частот множества локационных радиосигналов [1] оптическая несущая с источника лазерного излучения с частотой f_0 разветвляется на два канала (переноса измеряемых частот f_{RFN} на оптическую несущую и генерирования частотной гребенки с шагом f_{FC}) в оптическом разветвителе. В верхнем канале схемы излучение поступает на амплитудный модулятор Маха-Цендера, где происходит перенос измеряемых микроволновых частот на оптическую несущую. Сама оптическая несущая подавляется. Формируется N двухчастотных сигналов на составляющих измеряемых частот $f_0 \pm f_{RFN}$ с разностной частотой между ними равной удвоенной измеряемой частоте $2f_{RFN}$.

Проблему с генерацией удвоенной разностной частоты относительно измеряемых можно решить путем применения амплитудно-фазового преобразования несущей по методу Ильина-Морозова [2-4], однако это потребует использования дополнительного фазового модулятора в измерительном канале. Поэтому в нижнем плече сигнал подается на фазовый модулятор включенный для формирования многокомпонентной частотной гребенки с экспоненциально спадающей огибающей с шагом полос f_{FC} = 2 ГГц.

На рис. 1 приведена схема амплитудно-частотного взаимодействия составляющих измеряемых частот и частотной гребенки с экспоненциально спадающей огибающей.

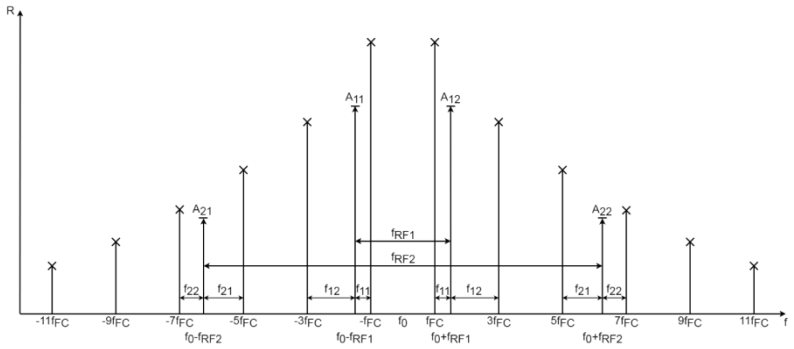


Рис. 1. Амплитудно-частотное взаимодействия составляющих измеряемых частот и частотной гребенки с экспоненциально спадающей огибающей

На фотоприемнике, как на квадратичном элементе, будут формироваться сигналы биений $B_{\pm j}$ составляющих измеряемых частот $A_{\pm 1N}$ с оптическими парами составляющих частотной гребенки $C_{\pm i}$, между которыми они располагаются. Полоса пропускания фотодетектора выбирается равной ширине одного канала частотной гребенки для фильтрации и дальнейшей обработки биений составляющих измеряемой частоты с близлежащими составляющими

частотной гребенки и подавления биений с остальными её составляющими. Таким образом на ЭВАЦ могут попадать биения с различных каналов (для примера на рис. 1 показаны варианты измерения частот f_{RF1} и f_{RF2}), частота которых будет определяться как частотами сформировавшихся сигналов биений в канале, так и отношением амплитуд этих составляющих, определяемым спектральными характеристиками компонент частотной гребенки. Таким образом, процедура измерения частот множества радиолокационных сигналов сводится к определению номера канала по отношению мощностей сигналов биений и вычислению собственно мгновенной частоты внутри этого канала по значениям частот сигналов биений. Для нулевого канала $\pm f_{FC}$ должна быть рассмотрена особая ситуация. Спектр содержит частоту биений F_R с левой пограничной частотой $-F_C$ и правой пограничной частотой F_C. Между ними расположена искомая частота биений $2F_R$. Для неё характерна осциллограмма с коэффициентом амплитудной модуляции, равным 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.Z. Sakhabutdinov, O.G. Morozov, A.A. Ivanov [и др.] Multiple frequencies analysis in FBG based instantaneous frequency measurements // IEEE Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2018. P. 8350635.

2. R.A. Khabibullin, O.G. Morozov, A.Z. Sakhabutdinov [и др.] Methods of spectrally pure two-frequency radiation forming for terahertz carriers generation in optical range // IEEE Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. P. 7997568.

3. А.М. Ал-Муфти, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Широкополосные и сверхузкополосные пакеты дискретных частот для решения задач спектральной настройки восходящих каналов волоконно-оптических транспортных доменов сетей доступа мобильной связи 5G+ // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2025. Т. 5. № 1. С. 64-89.

4. А.А. Талипов, О.Г. Морозов, Г.И. Ильин [и др.] Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально-эффективной модуляции RZ и CSRZ форматов в оптических сетях доступа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 3-12.

MEASURING THE FREQUENCIES OF A SET OF RADIO LOCATION SIGNALS BY THE MICROWAVE PHOTONICS METHOD

Potapov G.S., Morozov O.G., Nureyev I.I.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents a microwave photonics method for instantaneously measuring the frequencies of multiple radio location signals using a two-channel system that employs an optical frequency comb.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРЕ

Проскуряков А.Д., Морозов О.Г., Нуреев И.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Непрерывное определение уровня воды по показаниям гидростатического давления в резервуарах является неотъемлемой частью таких промышленных приложений, как химическая переработка, хранение и транспортировка товарной воды, атомная энергетика, очистные сооружения и др. Для определения этого параметра были предложены различные методы измерения гидростатического давления, основанные на акустических, механических, электронных и фотонных технологиях [1]. Устройства для измерения гидростатического давления по конечному назначению будем называть датчиками уровня воды (ДУВ).

Среди ДУВ, широкое распространение получили оптоволоконные датчики благодаря малым размерам, компактной конструкции, низкой стоимости и простоте изготовления [1]. Оптоволоконные датчики в процессе измерения уровня воды предназначены в основном для регистрации изменения фазы, длины волны и интенсивности зондирующих их лазерного излучения. В качестве стандартных сенсорных структур широко используются волоконные брэгговские решетки (ВБР) и длиннопериодные брэгговские решётки, ДУВ на основе поверхностного плазмонного резонанса, интерферометры Фабри-Перо и Маха-Цендера. Последнее время в ДУВ начали применяться адресные волоконные брэгговские структуры (АВБС) [2]. Благодаря простоте изготовления, высокой стабильности и возможности повторного использования ВБР стали одними из основных структур для применения в точечных решениях, а АВБС в многосенсорных. Однако у ВБР есть один существенный недостаток: относительное смещение длины волны Брэгга чувствительно как к гидростатической деформации, вызванной уровнем жидкости, так и к температуре окружающей среды. Таким образом, для более точного измерения уровня жидкости требуется метод температурной компенсации.

АВБС – это структура в оптическом волокне, удовлетворяющая следующему набору требований [2]. При воздействии на неё широкополосного лазерного излучения с равномерной амплитудно-частотной характеристикой формируется двухчастотный сигнал оптического диапазона, разность частот которого значительно меньше оптических несущих частот и находится в радиочастотной области спектра. Разностная частота между двумя частотными компонентами инвариантна к воздействию физических полей и не изменяется при смещении центральной частоты АВБС. Полная ширина на полувысоте спектральных компонент, образующих двухчастотную характеристику, одинакова и значительно меньше разностной частоты. Существует как минимум два теоретических подхода к формированию АВБС с инвариантным расстоянием

между её адресными частотами при воздействии измеряемых полей. Первый подход заключается в использовании ВБР с двумя симметричными фазовыми π-сдвигами (2π-АВБС), а второй в использовании двух идентичных, разнесённых по длине волны сверхузкополосных ВБР (2λ-АВБС). В [1] для построения системы контроля уровня нами было использовано множество 2π-АВБС, которые выполняли функции адресного мультиплексирования ДУВ, работающих на основе эффекта Френеля, и компенсации температуры. Дополнительное преимущество применения АВБС – использование конструктивно простых радиофотонных интеррогаторов.

В данном докладе будут представлены варианты ДУВ на основе измерения гидростатического давления для определения уровня воды на основе использования двух последовательных 2π-АВБС и мембраны. ДУВ на основе мембраны позволяют избежать непосредственного контакта сенсора с жидкостью, что обеспечивает более высокую механическую надёжность волоконно-оптических датчиков в целом. Применение двух последовательных 2π-АВБС позволяет снизить уровень коллизии по ложным адресам, характерных для одинарных 2π-АВБС в многосенсорной системе [2]. Будут проанализированы поставленные для достижения цели задачи и пути их решения: анализ существующих структур ДУВ мембранного типа с встроенной функцией компенсации температуры и выбор прототипа для модернизации; разработка мембранного ДУВ с компенсацией температуры на базе двух последовательно соединённых 2π-АВБС; разработка структурной схемы и основы функционирования многосенсорной системы ДУВ на базе пассивной оптической сети сбора данных с оценкой выигрыша по метрологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.И. Нуреев, А.Д. Проскуряков [и др.] Пассивная волоконно-оптическая квазираспределённая сенсорная сеть контроля уровня воды в дискретных точках резервуара с адресным мультиплексированием // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 1(61). С. 77-90.

2. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

MICROWAVE PHOTONICS HYDROSTATIC PRESSURE SYSTEM FOR MONITORING THE WATER LEVEL IN THE TANK

Proskuryakov A.D., Morozov O.G., Nureev I.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents a microwave photonics water level monitoring system based on a hydro-static pressure sensor that uses two sequential address fiber Bragg structures with a membrane.

УДК 621.383

РАДИОФОТОННАЯ ИНТЕРРОГАЦИЯ ДАТЧИКА-ДИАФРАГМЫ УРОВНЯ ВОДЫ

Проскуряков А.Д., Морозов О.Г., Нуреев И.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

При приложении давления воды к диафрагме её деформацию можно аппроксимировать линейной функцией перепада давления (Δp). При использовании этих предположений деформация диафрагмы (ε_d) определяется:

$$\varepsilon_d = \tfrac{3}{8}(1+\upsilon)\frac{\Delta p a^2}{E_r t^2}, \quad (1)$$

где υ – коэффициент Пуансона материала диафрагмы, t – толщина диафрагмы, a – радиус чувствительной зоны диафрагмы, E_r – модуль упругости (модуль Юнга) диафрагмы, выполненной из эпоксидной смолы (Liquid Lens). При этом перепад давления возникает за счёт гидростатического давления:

$$\Delta p = \rho g h, \quad (2)$$

где ρ – плотность, а h – уровень жидкости, g – ускорение свободного падения.

Предполагая, что результирующая деформация волокна (ε_f) линейно пропорциональна соотношению модуля упругости к диаметрам волокна и мембраны, можно получить:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_d\left(E_r/E_f\right)\left(d_r/d_f\right), \quad (3)$$

где d_r и d_f – общий диаметр диафрагмы, в котором проложено волокно, и диаметр оптического волокна соответственно, а E_f – модуль упругости кварцевого волокна соответственно. Для используемого кварцевого оптического волокна в расчётах могут быть приняты d_f =125 мкм, E_f = 70 ГПа. Для диафрагмы из эпоксидной смолы d_r = 50 мм, E_r = 0,0016 ГПа, υ=0,47, t = 1,1 мм и a = 9,5 мм. Кроме того, ρ = 1000 кг·м³ и g = 9,8 м·с².

Передача деформации, предложенная в уравнении (3), связывает деформацию (вызванную давлением), приложенную в направлении диаметра диафрагмы, с деформацией, вызывающей смещение центральной длины волны на 2π-АВБС, т.е. продольной деформацией, которая происходит в направлении диаметра волокна. Чтобы оценить ожидаемое смещение длины волны с ростом уровня, представленные выше параметры подставляются в уравнения (1)-(3), учитывая также

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1-P_\varepsilon)\varepsilon_f, \quad (4)$$

где P_ε – эффективная фотоупругая постоянная, равная 0,22.

Если уровень воды варьируется от 0 до 500 мм смещение брэгговской длины волны составит 1,3 нм по уровню, а разрешающая способность требуемых измерений должна составлять 0,25-0,3 пм/мм. Совмещённый датчик гидростатического давления и температуры представим как двух сенсорную измерительную систему, построенную на двух 2π-АВБС [1, 2]. Обозначим

присутствующие в системе два АВБС датчика – 2.1 и 2.2, с несовпадающими адресными разностными частотами Ω_1 и Ω_2. Функциональная схема радиофотонного интеррогатора датчика на основе двух 2π-АВБС с нормировкой выходного сигнала перед фотоприемником представлена на рис. 1.

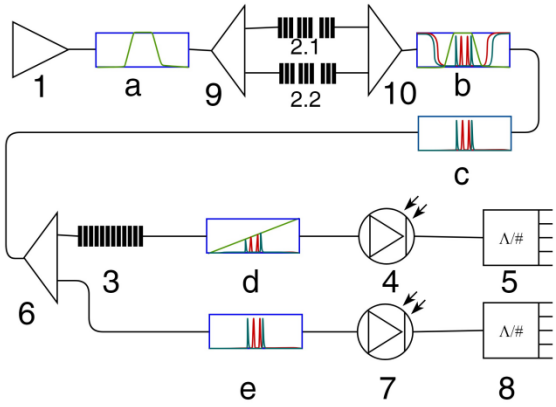


Рис. 1. Функциональная схема радиофотонного интеррогатора:
1 – широкополосный лазерный источник; 2.1–2.2 – 2π-АВБС; 3 – линейный наклонный фильтр; 4 – измерительный фотоприемник; 5 – измерительный АЦП; 6 – оптический разветвитель; 7 – опорный фотоприемник; 8 – опорный АЦП.
Буквами a–e показаны спектры

Анализ, проведённый в работе показывает, что полоса фильтра 3 должна быть выбрана в диапазоне 1,3 нм по уровню плюс 3 нм для учета изменений температуры воды в диапазоне до 60°C, а АЦП должно обеспечить требуемую разрешающую способность. Датчик 2.1 предназначен для контроля исключительно температуры, датчик 2.2 – температуры и гидростатического давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.И. Нуреев, А.Д. Проскуряков [и др.] Пассивная волоконно-оптическая квазираспределённая сенсорная сеть контроля уровня воды в дискретных точках резервуара с адресным мультиплексированием // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2024. № 1(61). С. 77-90.

2. О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

MICROWAVE PHOTONICS INTERROGATION OF THE WATER LEVEL DIAPHRAGM SENSOR

Proskuryakov A.D., Morozov O.G., Nureev I.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper details the design and analysis of a microwave photonics interrogation system for a water level sensor based on a diaphragm and two addressable fiber Bragg structures.

УДК 621

ВОЗМОЖНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ СПИНОВЫХ ВОЛН В ФИЗИЧЕСКОМ ВАКУУМЕ (ФВ), ИСХОДЯ ИЗ МОДЕЛИ ДИРАКА

Жуков С.В., Топоркова Л.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Одним из наиболее быстро развивающихся разделов науки и техники в настоящее время является спинтроника изучающая передачу информации с помощью спиновых волн, распространяющихся в материалах с упорядоченной спиновой структурой. Наиболее яркими представителями таких структур являются ферромагнетики и антиферромагнетики (Рис.1).

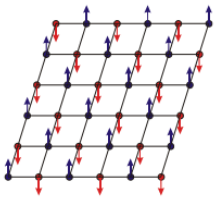


Рис.1 Спиновая структура антиферромагнетика приведена ниже.

Спины атомов антиферромагнетика анти коллинеарны. За счет обменного взаимодействия возникает взаимодействие между атомами. Гамильтониан для обменного взаимодействия Гейзенберга (впервые введён Дираком) цепочки атомов выражается соотношением

$$H = \frac{1}{2}\sum_{i,j} J_{i,j}\vec{S}_i\vec{S}_j$$

где $J_{i,j}$ – обменный интеграл, S – спины электронов.

Возмущение структура в каком-либо месте приводит прецессии спинов, которые распространяются по материалу в виде спиновых волн (Рис. 2)

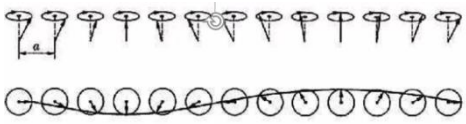


Рис.2 Модель спиновых волн

Модулируя прецессию спинов удается передавать информацию за счет не распространения материи, а за счет распространения фазы, скорость распространения которой не регламентирована СТО.

Элементарной основой физического вакуума (ФВ) согласно модели Дирака являются частицы объединяющие частицу и античастицу в которых противоположные спины, заряды и энергии компенсируют друг друга и поэтому в обычных условиях частицы не обнаруживаемы.

В развитие модели Дирака А.Е. Акимовым была создана модель (фитонная) ФВ, схематично выглядящая как упорядоченная структура чередующихся

противоположных спинов (Рис.3). В рамках фитонной модели находят физический смысл фундаментальные константы [1,2].

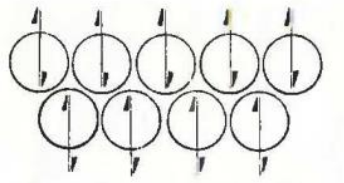


Рис.3 Фитонная модель ФВ

Эта структура подобна спиновой структуре антиферромагнетика. Отсюда возникает гипотеза о возможности существования спиновых волн ФВ, что могло бы объяснить такие, обнаруженные в последнее время, явления как квантовая запутанность и квантовая телепортация. Необходимо отметить, что возникающие спиновые волны распространяются в обе стороны фазового пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков С.В., Л.В. Топоркова Л.В. Фитонная природа гравитационной постоянной// Материалы XXVI Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (ПТИТТ-2024), г. Самара, ПГУТИ, 2024, с.15-16

2. Жуков С.В., Топоркова Л.В. Природа электростатического взаимодействия на основании анализа закона Кулона исходя из фитонной модели физического вакуума// Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях» (ОТТ-2024), г. Самара: ПГУТИ, 2024, с.192-193

POSSIBILITY OF EXISTENCE OF SPIN WAVES IN PHISICAL VACUUM (PV) BASED ON DIRAC MODEL

Zhukov S.V.,Toporkova L.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The paper examines the existence of spin waves in a physical vacuum based on the Dirac model. The possibility of the presence of spin waves could explain such recently discovered phenomena as quantum entanglement and quantum teleportation

УДК 621

СВЯЗЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ТОНКОЙ СТРУКТУРОЙ ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА (ФВ)

Жуков С.В., Топоркова Л.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Причинно следственную связь между вектором смещения, плотностью тока и напряженностью магнитного поля задает уравнение Максвелла

$$\text{rot}\,\vec{H}=\vec{j}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

т. е. причиной возникновения магнитного поля являются обычный ток и ток смещения. Ток смещения Максвеллом связывается с поляризационным зарядом.

Дираком было введено понятие об элементарных частицах ФВ (ЭЧФВ), которые состоят из объединённых частицы и античастицы, являющихся фермионами. Заряды, спины и массы частиц в обычных условиях скомпенсированы поэтому частицы не обнаружимы. Схематично строение (ЭЧФВ), попавшей в электрическое поле или вблизи заряда, можно изобразить, как изобразил Акимов (Рис.1), предложивший назвать эту частицу фитоном.

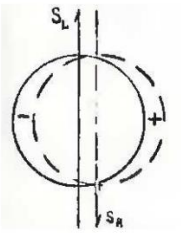


Рис.1 Схематическое строение элементарной частицы физического вакуума.

Из рисунка видно, что вблизи электрического заряда скомпенсированность заряда и спина S исчезают, возникает их поляризация. В случае постоянных полей общий спин сохраняется скомпенсированным, а поляризация зарядов создает вектор смещения [1], что аналогично возникновению электростатического поля. В случае изменяющейся поляризации, кроме колебаний вектора смещения, возникают связанные поперечные колебания спинов в (ЭЧФВ).

Таким образом, возникающее согласно уравнению Максвелла, магнитное поле в представленной модели является интегральным следствием колебаний зарядов и спинов в (ЭЧФВ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков С.В., Топоркова Л.В. Природа электростатического взаимодействия на основании анализа закона Кулона исходя из фитонной модели физического вакуума// Материалы XXII Международной научно-технической конференции

«Оптические технологии в телекоммуникациях» (ОТТ-2024), г. Самара: ПГУТИ, 2024, с.192-193

RELATIONSHIP OF THE MAGNETIC FIELD WITH THE FINE STRUCTURE OF PHYSICAL VACUUM (PV)

Zhukov S.V., Toporkova L.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

This paper examines the relationship between the magnetic field and the fine structure of the physical vacuum. The behavior of an elementary particle of the physical vacuum near an electric field is studied.

УДК 621.383

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ, НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТ

Габдулхаков И.М., Морозов О.Г., Нуреева А.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Квантовое распределение ключей предоставляет уникальную возможность обмена данными между пользователями с безопасностью, не достижимой в классических системах криптографической защиты [1].

Рассмотрим устройство квантовой рассылки криптографического ключа с частотным кодированием изображенный на Рис.1 в работе [2].

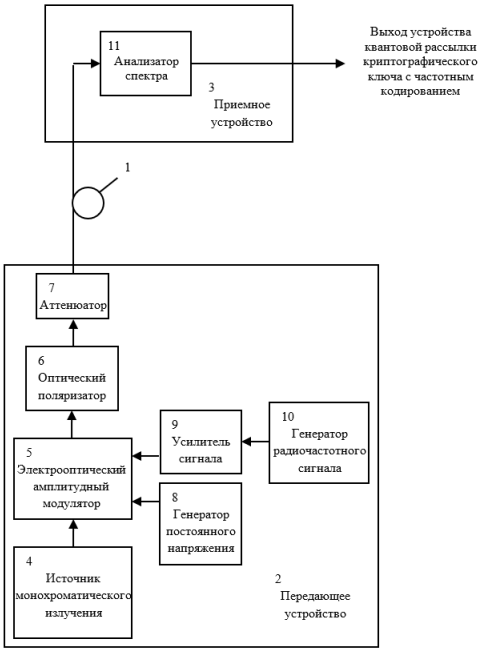


Рис. 1. Устройство квантовой рассылки криптографического ключа с частотным кодированием

Для передачи первого ортогонального состояния фотона $|+;1\rangle$, на передающем устройстве 2, световой пучок с частотой ω_0 подвергается амплитудной модуляции радиочастотным сигналом с частотой Ω в «нулевой» рабочей точке электрооптического амплитудного модулятора 5. В результате появляется двухчастотное излучение на частотах $\omega_0 - 2\Omega$, $\omega_0 + 2\Omega$. Коэффициент усиления модулирующего сигнала регулируется на усилителе сигнала 9, равным – 1,84.

Для передачи второго ортогонального состояния фотона $|-;1\rangle$, на передающем устройстве 2, световой пучок с частотой ω_0 подвергается амплитудной модуляции радиочастотным сигналом с частотой Ω в «нулевой» рабочей точке электрооптического амплитудного модулятора 5. В результате появляется четырехчастотное излучение на частотах $\omega_0 - 2\Omega$, $\omega_0 + 2\Omega$, $\omega_0 - 6\Omega$, ω_0

+ 6Ω Коэффициент усиления модулирующего сигнала регулируется на усилителе сигнала 9, равным – 3,05.

Для передачи третьего ортогонального состояния фотона $|+;2\rangle$, на передающем устройстве 2, световой пучок с частотой ω_0 подвергается амплитудной модуляции радиочастотным сигналом с частотой Ω в «нулевой» рабочей точке электрооптического амплитудного модулятора 5. В результате появляется шестичастотное излучение на частотах $\omega_0 - 2\Omega$, $\omega_0 + 2\Omega$, $\omega_0 - 6\Omega$, $\omega_0 + 6\Omega$, $\omega_0 - 10\Omega$, $\omega_0 + 10\Omega$. Коэффициент усиления модулирующего сигнала регулируется на усилителе сигнала 9, равным – 5,31.

Для передачи четвертого ортогонального состояния фотона $|-;2\rangle$, на передающем устройстве 2, световой пучок с частотой ω_0 подвергается амплитудной модуляции радиочастотным сигналом с частотой Ω в «нулевой» рабочей точке электрооптического амплитудного модулятора 5. В результате появляется восьмичастотное излучение на частотах $\omega_0 - 2\Omega$, $\omega_0 + 2\Omega$, $\omega_0 - 6\Omega$, $\omega_0 + 6\Omega$, $\omega_0 - 10\Omega$, $\omega_0 + 10\Omega$, $\omega_0 - 14\Omega$, $\omega_0 + 14\Omega$ (Рис.2). Коэффициент усиления модулирующего сигнала регулируется на усилителе сигнала 9, равным – 7,90.

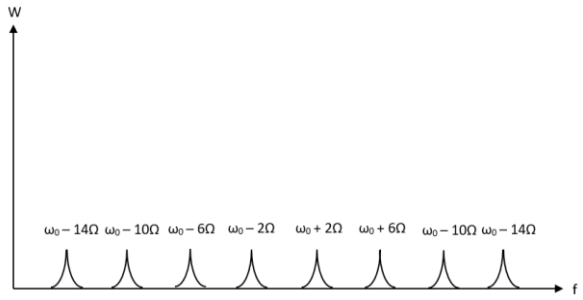


Рис. 2. Спектр четвертого ортогонального состояния фотона

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов О.Г., Габдулхаков И.М. Амплитудно-фазоваярадиофотонная система квантового распределения ключей с частотнымкодированием // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-2. С. 62-69.

2. Пат. 2845187 Российская Федерация, МПК H04B 10/85 (2013/01), H04L 9/08 (2006.01). Устройство квантовой рассылки криптографического ключа с частотным кодированием / Морозов О.Г., Габдулхаков И.М., Нуреев И.И., Кузнецов А.А., Морозов Г.А., Сахабутдинов А.Ж., Нуреева А.И.; заявитель и патентообладатель КНИТУ-КАИ. - № 2024137041; заявл. 10.12.2024., опубл.: 14.08.2025; Бюл. № 23.

UNIVERSAL QUANTUM KEY DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON OPTICAL FREQUENCY MULTIPLICATION

Gabdulkhakov I.M., Morozov O.G., Nureeva A.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

The article presents a method of operation of a quantum cryptographic key distribution device with frequency coding, based on optical frequency multiplication.

УДК 621.383

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ, НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТ

Габдулхаков И.М., Морозов О.Г., Нуреева А.И.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ)

Квантовое распределение ключей, сегодня, это – принципиально иной уровень защиты обмена данными [1].

Реализация и алгоритм работы устройства распределения ключей, на основе электрического умножения частот на Рис.1 [2].

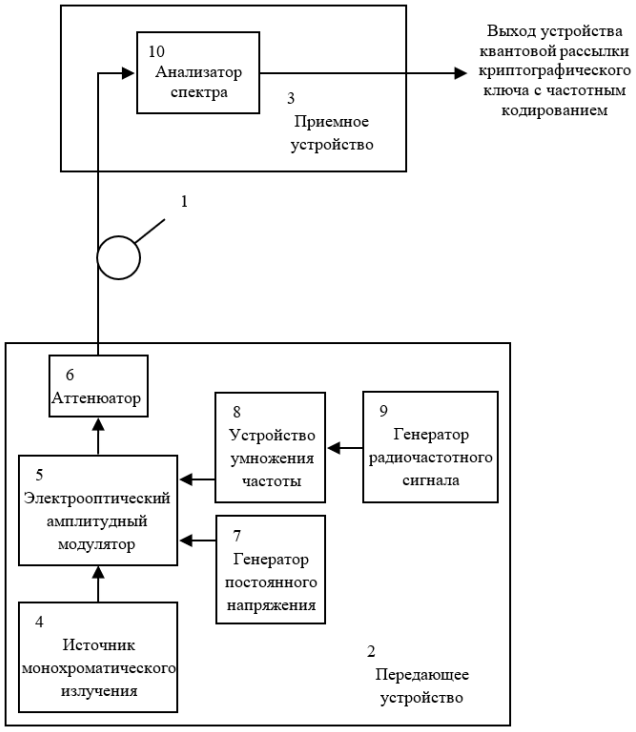


Рис. 1. Структурная схема устройства [2]

В основе предлагаемого универсального устройства лежит программируемый умножитель частот. Это позволяет, в отличие от известных решений, гибко формировать пары частот для всех четырех ортогональных состояний из одного опорного генератора. Как было предложено в нашей предыдущей работе [2], устройство функционирует следующим образом; все четыре ортогональных состояния фотона $|+;1\rangle$, $|-;1\rangle$, $|+;2\rangle$, $|-;2\rangle$, формируются по единому алгоритму: амплитудной модуляцией светового пучка в «нулевой» рабочей точке модулятора, радиочастотным сигналом с частотой Ω для первого, 2Ω для второго, 3Ω для третьего и 4Ω для четвертого фотона. В результате получаем амплитудно-модулированные сигналы с подавленной несущей [1] для каждого состояния. При этом изменение частоты модулирующего сигнала выполняется на программируемом умножителе частот

путем выбора соответствующего коэффициента умножения. Представим данные в табличном виде, Таблица 1.

Таблица 1

Таблица состояний

Ортогональное состояние фотона	$\|+;1\rangle$	$\|-;1\rangle$	$\|+;2\rangle$	$\|-;2\rangle$
Частота модулирующего сигнала	Ω	2Ω	3Ω	4Ω
Коэффициент умножения частоты	1	2	3	4
Спектр полученных сигналов	$\omega_0 - \Omega$ $\omega_0 + \Omega$	$\omega_0 - 2\Omega$ $\omega_0 + 2\Omega$	$\omega_0 - 3\Omega$ $\omega_0 + 3\Omega$	$\omega_0 - 4\Omega$ $\omega_0 + 4\Omega$

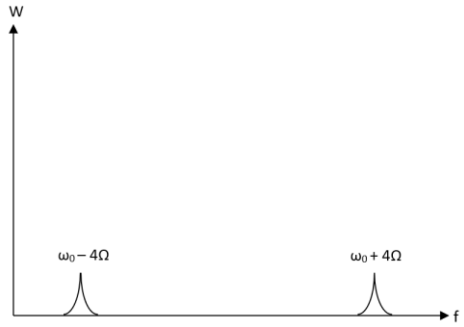


Рис. 2. Спектр четвертого ортогонального состояния фотона

Умножитель частот обеспечивает гибкость и защищенность системы, сохраняя возможность классического кодирования фотонов на одной частоте, возможность, при угрозе подслушивания, перехода на другую частоту и возможность кодирования каждого фотона на отдельной частоте по описанному выше алгоритму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов О.Г., Габдулхаков И.М. Амплитудно-фазоваярадиофотонная система квантового распределения ключей с частотнымкодированием // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-2. С. 62-69.

2. Заявка на изобретение RU 2024 137 034, Российская Федерация, Устройство квантовой рассылки криптографического ключа с частотным кодированием / Морозов О.Г., Габдулхаков И.М., Нуреев И.И., Кузнецов А.А., Морозов Г.А., Сахабутдинов А.Ж., Нуреева А.И.; заявитель КНИТУ-КАИ.

UNIVERSAL QUANTUM KEY DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON ELECTRICAL FREQUENCY MULTIPLICATION

Gabdulkhakov I.M., Morozov O.G., Nureeva A.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This article discusses the operation of a device for quantum distribution of a cryptographic key with frequency coding, based on electrical frequency multiplication.

УДК 535

РАСЧЕТ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ И ОЦЕНКА ДОБРОТНОСТИ НАНОФОТОННОГО РЕЗОНАТОРА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ И НИТРИДА КРЕМНИЯ

Гарифуллин А. И., Болдышева В. К., Ермишев О. А., Арсланов Н. М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр, Казанский федеральный университет, Институт физики)

Эффективное управление светом на наномасштабе является ключевой задачей современной фотоники. Одним из наиболее перспективных путей для этого является создание высокодобротных оптических резонаторов, которые позволяют удерживать свет в малом объеме в течение длительного времени. Такие резонаторы критически важны для развития целого ряда технологий, включая нанолазеры, однофотонные источники, переключатели, биосенсоры и элементы квантовой памяти [1, 2]. Кроме того, они предоставляют уникальную платформу для исследования фундаментальных эффектов квантовой электродинамики в полости [3-5].

Эти функции реализуются в нанофотонных резонаторах на основе фотонных кристаллов. Благодаря периодическому изменению показателя преломления и высокому оптическому контрасту (например, n_{Si}/n_{air}) в структуре формируется фотонная запрещенная зона. Введение дефекта, такого как изменение периода или толщины слоев, создает внутри этой зоны дефектные пики пропускания на резонансных длинах волн. Оптимизация геометрии структуры позволяет достичь высокодобротных резонансных состояний, при которых свет локализуется в области дефекта. Это явление, известное как «медленный свет», значительно усиливает взаимодействие света с веществом благодаря эффекту Парселла, что крайне важно для многих практических приложений. В данной работе моделирование проводилось с помощью метода FDTD, были исследованы две структуры, рассчитанные на резонансную длину волны $\lambda = 1{,}55$ мкм:

1. Резонатор на кремнии (Si, $n = 3.46$) на подложке SiO_2/Si: ширина волновода $w = 0.70$ мкм, постоянная решетки $a = 0.33$ мкм, высота $h = 0.22$ мкм. Дефектная область состояла из $N_{def} = 20$ отверстий с радиусом, изменяющимся по квадратичному закону (факторы заполнения $f_{start} = 0.2$, $f_{end} = 0.1$), и обрамлялась $N = 10$ отверстий с постоянным радиусом с каждой стороны.
2. Резонатор на нитриде кремния (Si_3N_4, $n = 2$) на подложке SiO_2/Si: $w = 2.30$ мкм, $a = 0.60$ мкм, $h = 0.22$ мкм. Параметры N_{def}, N, а также закон изменения радиуса ($f_{start} = 0.1765$, $f_{end} = 0.1373$) были аналогичны первой структуре.

Результаты расчетов для TE-поляризации:

1. Для Si резонатора: добротность: $Q_1 = 8.2 \cdot 10^5$ ($\lambda = 1.578$ мкм, без учета подложки), $Q_2 = 1.7 \cdot 10^5$ ($\lambda = 1.560$ мкм, с учетом подложки). Модовая площадь $S_{mode} = 0.064$ мкм², модовый объем $V_{mode} = 0.011$ мкм³. Фактор Парселла $F_p = 4.67 \cdot 10^5$ ($\lambda = 1.575$ мкм).

2. Для Si_3N_4 резонатора: добротность: $Q_1 = 610$ ($\lambda = 1.551$ мкм, без учета подложки), $Q_2 = 40$ ($\lambda = 1.531$ мкм, с учетом подложки). Модовая площадь $S_{mode} = 0.334$ мкм², модовый объем $V_{mode} = 0.062$ мкм³. Фактор Парселла $F_p = 402$ ($\lambda = 1.550$ мкм).

Расчеты проводились методом 3D FDTD с размером сетки 20 нм, временем моделирования 5000 фс и критерием остановки auto shutoff min = 10^{-7}.

Показано, что добротность резонатора из Si_3N_4 существенно ниже, чем у кремниевого аналога. Это объясняется меньшим оптическим контрастом и большей шириной волновода, что приводит к менее эффективному удержанию оптического поля, его просачиванию в подложку SiO_2 и, как следствие, к снижению добротности.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Garifullin A.I., Arslanov N.M. Optimization of SI3N4 nanophotonic resonator taking into account the substrate influence // Proc. SPIE. 2024. V. 13168. P. 1-6.
2. Garifullin A.I., Gainutdinov R.Kh., Khamadeev M.A. Controlling the frequencies of photons emitted by a single quantum dot in a one-dimensional photonic crystal // J. Opt. Technol. 2024. V. 91. P. 399-404.
3. Gainutdinov R.Kh., Garifullin A.I., Ziyatdinova K.A. et al. Electromagnetic mass of an electron in one-dimensional photonic crystal // J. Phys. Conf. Ser. 2018. V. 1068. № 1. Art. no. 012005. P. 1-4.
4. Gainutdinov R. Kh., Nabieva L. J., Garifullin A.I. et al. Dressing of superconducting qubits by their interaction with a low frequency photon reservoir // J. Phys. Conf. Ser. 2019. V.1283. № 1. Art. no. 012004. P. 1-6.
5. Garifullin A.I., Gainutdinov R.Kh., Khamadeev M.A. Acceleration of Chemical Reactions in Hybrid One-Dimensional Photonic Crystals Based on High-Index Metamaterials // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. 2022. V. 86. no. 1. P. S66-S70.

CALCULATION OF TRANSMISSION SPECTRA AND EVALUATION OF THE QUALITY FACTOR OF A NANOPHOTONIC RESONATOR BASED ON SILICON AND SILICON NITRIDE

Garifullin A. I., *Boldysheva V. K., Ermishev O. A., Arslanov N. M.*
(Kazan Federal University, Institute of Physics, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan Quantum Center)

Abstract. In this work, the transmission spectra, *Q*-factor, mode area and mode volume of a nanophotonic resonator made of silicon and silicon nitride to generate high-*Q* resonant states are calculated.

УДК 535

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОМОДОВОГО ПОЛИМЕРНОГО ВОЛНОВОДА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ДВУХФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ

Ермишев О. А., Болдышева В. К., Гарифуллин А. И., Арсланов Н. М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр)

Современное развитие квантовых интегральных технологий включает не только фундаментальные исследования распространения света в микро- и наноразмерных структурах, но и решение сложных технологических задач [1]. Процесс создания интегральных фотонных структур представляет собой многоступенчатую последовательность операций, включающую подготовку поверхности, литографию, травление, газофазное осаждение и напыление [1]. Каждый этап увеличивает общую трудоёмкость и стоимость производства, поэтому исключение или упрощение даже одной технологической операции может существенно снизить затраты и расширить область практического применения таких устройств. Перспективным направлением технологической оптимизации является использование полимерного состава фоторезистов в качестве материала для создания волноводов [2]. Этот подход отличается технологической простотой и доступностью, однако имеет существенные недостатки, требующие детального изучения. Основные проблемы включают недостаточную исследованность дисперсионных свойств полимеров и относительно низкие значения показателя преломления (1,4-1,7) [3].

В рамках данного исследования проведён анализ возможности генерации фотонных пар посредством спонтанного четырёхволнового смешения в интегральном многомодовом микроволноводе из композитного полимерного материала. Методом численного моделирования с применением конечно-элементного анализа изучена электродинамическая модель волновода и определена оптимальная форма поперечного сечения, обеспечивающая достижение управляемых нулей дисперсии в ближней инфракрасной области. Результаты расчётов демонстрируют, что предложенная конфигурация волновода способна поддерживать один или два нуля дисперсии в рабочем диапазоне длин волн, что подтверждает её потенциал для генерации двухфотонных квантовых состояний.

Существенным ограничением практической реализации является малый контраст показателя преломления между материалом волновода и подложки (~0,014). Это приводит к слабому удержанию мод при поперечных размерах волновода менее 3 мкм, сужая диапазон допустимой геометрии и осложняя миниатюризацию устройства. Кроме того, низкий контраст показателей преломления ограничивает спектральный диапазон генерации сигнальных и холостых фотонов, снижая гибкость настройки системы, а низкая нелинейная восприимчивость полимерных материалов требует специальных подходов для усиления нелинейных эффектов. Для достижения эффективного нелинейного

взаимодействия могут применяться резонансные схемы усиления или волноводы сложной пространственной конфигурации (спиральные, кольцевые резонаторы). Перспективным направлением также представляется создание гибридных структур, комбинирующих полимерную основу с материалами, обладающими высокой нелинейной восприимчивостью.

Таким образом, несмотря на технологические преимущества, использование полимерных фоторезистов для генерации фотонных пар требует комплексного подхода к компенсации выявленных ограничений. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию геометрических параметров волноводов, разработку новых композитных материалов с улучшенными нелинейными характеристиками и создание специализированных резонансных схем для усиления нелинейных эффектов в полимерных структурах.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhu, D., et al. Integrated photonics on thin-film lithium niobate// Advances in Optics and Photonics. 2021. V.13(2). P.242-352.

2. Samanta, S., et al. Development of micro-ring resonator-based optical bandpass filter using SU-8 polymer and optical lithography// Optical Materials. 2018. V.77. P.122-126.

3. Khonina, S.N., et al. Polymer waveguide-based optical sensors—Interest in bio, gas, temperature, and mechanical sensing applications// Coatings.2023. V.13(3). P. 549.

ANALYSIS OF MODAL CHARACTERISTICS IN A MULTIMODE POLYMER WAVEGUIDE FOR TWO-PHOTON STATE GENERATION

Ermishev O. A., Boldysheva V. K., Garifullin A. I., Arslanov N. M.
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan Quantum Center)

This work investigates the possibility of generating photon pairs via spontaneous four-wave mixing in integrated waveguides made of polymer photoresist. Numerical modeling has shown that a specially tailored waveguide geometry enables achieving zero-dispersion points in the near-infrared range. However, the low refractive index contrast and nonlinear susceptibility of the material impose significant constraints on practical implementation. The proposed approach offers promising prospects for simplifying the fabrication technology of quantum integrated circuits but requires further optimization to address the identified limitations.

УДК 535

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТОГРАФОМ «КАИ-КВАНТ» НА ОСНОВЕ ФОРМАТА GDSII

Мавков Д.А., Гайнуллин Д.И., Ермишев О.А., Арсланов Н.М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казанский квантовый центр КНИТУ КАИ)

Современные исследования в области фотоники и микроэлектроники требуют высокоточного оборудования для формирования микро- и наноструктур, а также специализированного программного обеспечения, обеспечивающего управление такими системами с использованием стандартизированных форматов данных. Одним из наиболее распространённых форматов для хранения топологических данных в микроэлектронике является GDSII, который обеспечивает компактное представление геометрических структур и широко применяется в литографических процессах [1]. В данной работе представлено программное решение для управления литографом «КАИ-Квант», разработанное на основе обработки файлов формата GDSII, что позволяет эффективно интегрировать установку в технологические процессы прототипирования.

Литограф «КАИ-Квант» представляет собой систему с координатным столиком, перемещающимся по осям X и Y с использованием шаговых двигателей. Управление двигателями осуществляется через программируемые контроллеры, реализованные на языке Python, что обеспечивает гибкость и масштабируемость системы. Основным элементом разработанной программной архитектуры является модуль-конвертер, который преобразует данные GDSII-файлов в последовательность управляющих команд для литографа. Алгоритм конвертации включает следующие этапы: парсинг геометрических данных из GDSII-файла, формирование последовательности сигналов для управления шаговыми двигателями и модуляции лазера.

Для реализации указанного функционала был разработан скрипт на языке Python, использующий библиотеки для обработки GDSII-файлов и управления аппаратным обеспечением. Скрипт интерпретирует геометрические данные, такие как полигоны и пути, заданные в GDSII-файле, и преобразует их в оптимизированную траекторию движения координатного столика. Управляющие сигналы формируются с учётом параметров лазера, включая интенсивность и частоту модуляции, что обеспечивает высокую точность воспроизведения структур.

Верификация разработанного программного обеспечения проводилась путём изготовления тестовых структур с различной геометрией, включая линейные одномерные элементы. Результаты экспериментов показали, что литограф «КАИ-Квант» способен воспроизводить геометрию, заданную в GDSII-файле. Результаты подтверждают эффективность разработанного программного обеспечения, которое позволяет сократить время настройки литографа и повысить точность изготовления структур. Разработанное решение

делает установку «КАИ-Квант» универсальным инструментом для учебных и научных задач, включая прототипирование микроэлектронных компонентов и фотонных устройств.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), рег. № НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снайдер А. Теория оптических волноводов / пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1987. — 656 с.

SOFTWARE FOR CONTROLLING THE KAI-QUANT RASTER LITHOGRAPH BASED ON THE GDSII FORMAT

Mavkov D.A., Ermishev O.A, Arslanov N.M., Gainullin D.I.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Modern research in photonics and microelectronics requires high-precision equipment for structure formation and software for its control using standardized data formats. The GDSII format is widely used for storing topological data. This paper presents a software solution for the «KAI-Quant» lithograph based on GDSII file processing. The developed software converts GDSII data into control commands for the lithographs coordinate stage and laser modulation, achieving high-resolution reproduction of specified geometries.

УДК 535

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ИМПУЛЬСА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ ОДНОФОТОННОГО СОСТОЯНИЯ В ВОЛНОВОДНО-РЕЗОНАТОРНОЙ СИСТЕМЕ

Идрисова Л.А., Арсланов Н. М., Моисеев С.А.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр)

Исследована эффективность протокола быстрой квантовой памяти на одиночном атоме в резонаторе. Установлена немонотонная зависимость эффективности от мощности управляющего импульса с оптимальным диапазоном работы. Результаты позволяют оптимизировать параметры квантовой памяти для создания процессоров и сетей следующего поколения.

Квантовая память представляет собой фундаментальный элемент для реализации квантовых вычислений, симуляторов и глобальных квантовых сетей. Её основная функция — принимать, хранить и по запросу высвобождать квантовое состояние, закодированное в фотоне. Для создания масштабируемых систем перспективны интегрально-оптические платформы, где квантовая память становится ключевым узлом, синхронизирующим работу процессоров и обеспечивающим квантовую коммуникацию через повторители.

Одной из наиболее эффективных схем является квантовая память на основе одиночного атома в высокодобротном оптическом резонаторе. Такая конфигурация обеспечивает сильное взаимодействие между атомом и светом, необходимое для детерминистических квантовых операций с фотонными кубитами. Преимущество подхода — использование долгоживущих состояний атома как носителя информации и возможность выполнения квантовых операций непосредственно в памяти.

Особый интерес представляет неадиабатический режим работы, когда процессы записи и считывания происходят быстрее релаксации системы. Этот "быстрый" режим минимизирует потери от декогеренции и открывает путь к созданию высокоскоростных квантовых процессоров.

В работе исследуется динамика сохранения и восстановления однофотонного волнового пакета с использованием протокола быстрой квантовой памяти на одиночном атоме в резонаторе. Основное внимание уделено влиянию мощности управляющего импульса на эффективность устройства. Анализ проведен с учетом релаксации атомных уровней и потерь в резонаторе для гауссова волнового пакета при согласованной временной форме управляющего импульса. Хотя в идеальном протоколе управляющий импульс считается классическим полем, в реальных экспериментах его мощность является критическим параметром. Цель исследования — определить влияние среднего числа фотонов в управляющем импульсе на эффективность η записи и считывания.

Моделирование системы показало немонотонную зависимость эффективности от числа фотонов. При малых интенсивностях эффективность

растет с увеличением числа фотонов благодаря повышению вероятности перехода атома в метастабильное состояние. При больших значениях наблюдается плато с максимальной эффективностью, ограниченной потерями в резонаторе и релаксацией атома. Определен оптимальный диапазон мощности управляющих импульсов, сочетающий высокую эффективность с требованиями интегральной оптики. Эти результаты важны для проектирования квантовых процессоров и сетей, где минимизация энергозатрат и взаимовлияния компонентов является критически важной задачей. Перспективные направления дальнейших исследований включают изучение альтернативных протоколов и учет влияния фазового шума управляющего лазера.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L.Giannelli, T. Schmit, T. Calarco, C.P. Koch, S.Ritter and G. Morigi/ Optimal storage of a single photon by a single intra-cavity atom // New J. Phys. – 2018. – Vol. 20. – P.105009.

2. T.Macha et al. Nonadiabatic storage of short light pulses in an atom-cavity system / Phys. Rev. A. – 2020. Vol.101. – P. 053406.

3. N.M.Arslanov, S.A.Moiseev / Fast Quantum Memory on a Single Atom in a High-Q Cavity // Journal of Russian Laser Research. – 2021. – Vol.42. – P. 378-387.

INFLUENCE OF CONTROL PULSE POWER ON QUANTUM MEMORY EFFICIENCY FOR SINGLE-PHOTON STATES IN A WAVEGUIDE-RESONATOR SYSTEM

Boldysheva V. K., Ermishev O. A., Garifullin A. I., Arslanov N. M.
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan Quantum Center)

The efficiency of a fast quantum memory protocol based on a single atom in a resonator was investigated. A non-monotonic dependence of efficiency on the control pulse power was established, with an identified optimal operating range. The results enable optimization of quantum memory parameters for next-generation processors and networks.

УДК 535

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРНОГО ДЕЛИТЕЛЯ СВЕТА НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Болдышева В. К., Ермишев О. А., Гарифуллин А. И., Арсланов Н. М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр)

Современная интегральная квантовая оптика активно развивается, и для создания эффективных компактных устройств на чипе становится актуальной задача их предварительного моделирования и оптимизации. Оптический делитель один из базовых компонентов фотонных интегральных схем. В зависимости от материала изготовления сильно меняются геометрические параметры делителя, его эффективность и стоимость. В качестве наиболее доступного материала для таких структур часто используется полимер PMMA. При этом он достаточно простой в применении. В современных работах с использованием близкого по показателю преломления материала SU-8 есть данные по параметрам делителя для длины волны 1550 нм, полученные экспериментально [1]. В нашей работе мы исследовали геометрические параметры многомодового оптического делителя на композитном полимере для различных длин волн: 1550нм, 800 нм, 600нм. Преимуществом применения многомодовых интегральных структур в сфере квантовых коммуникаций является с одной стороны их компактность, а с другой стороны возможность использовать их для генерации фотонных пар, условия для которой можно создать, усилив нелинейные свойства полимерного материала с помощью внедрения ионов [2]. Композитные полимеры можно использовать, чтобы создавать не только делители мощности, но и поляризационные делители [3] Также преимуществом многомодовых устройств является способность к передаче большего количества информации по одному каналу.

В работе произведен поиск оптимальных параметров полимерного оптического делителя в виде двух сонаправленных волноводов (Рис.1) таким образом, чтобы получить наибольшее пропускание света.

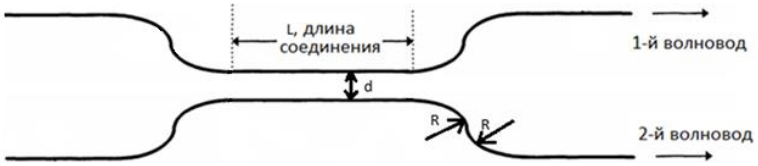


Рис. 1. Модель интегрального оптического делителя. L – длина соединения двух волноводов, d – расстояние между волноводами, R – радиус изгиба.

В частности, был исследован радиус изгиба волновода, при котором свет проходит с минимальными потерями, а также параметры высоты H, ширины W в поперечном сечении, и длины L в продольном сечении (Рис. 2), найдено оптимальное расстояние между двумя ветвями делителя для эффективного переноса света.

Выполнены расчёты по нахождению одной и нескольких мод в поперечном сечении волновода и найдена дисперсия эффективного показателя преломления для разных длин волн и типов мод.

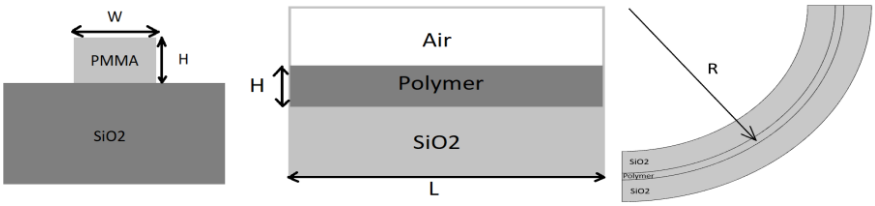


Рис. 2. Модель волновода с шириной W, в поперечном сечении, и с высотой H, длиной L в продольном сечении. Модель изгиба волновода с радиусом R.

Исходя из полученных результатов строится оптимальная модель интегрального оптического делителя для разных длин волн и в дальнейшем они могут быть использованы для изготовления многомодовых интегральных структур (волноводов, делителей, кольцевых резонаторов и пр.) из композитного полимера на подложке из стекла с помощью литографа КАИ-КВАНТ.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Z. Ding, H. Wang, T. Li, X. Ouyang, Y. Shi and A. P. Zhang, "Fabrication of Polymer Optical Waveguides by Digital Ultraviolet Lithography" in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 40, no. 1, pp. 163-169, Jan.1, 2022, doi: 10.1109/JLT.2021.3120712.
2. G. Hadjichristov and I. Stefanov, "Ion-implanted polymethyl methacrylate beam splitter/coupler for 1.55 μm applications," Appl. Opt. 49, 1876-1879 (2010).
3. Stelmaszyk A., Strack H., Frank W. F. Directional couplers in PMMA working as wavelength and polarization splitters //Precision Plastic Optics for Optical Storage, Displays, Imaging, and Communications. – SPIE, 1997. – Т. 3135. – С. 154-159.

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A POLYMER LIGHT SPLITTER ON ITS EFFICIENCY

Boldysheva V. K., Ermishev O. A., Garifullin A. I., Arslanov N. M.
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan Quantum Center)

In the work, the optimal parameters of the polymer optical splitter were searched in such a way as to obtain the greatest light transmission.

УДК 535

ОТЛАДКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАСТРОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА НАУЧНО-УЧЕБНОМ ЛИТОГРАФЕ «КАИ-КВАНТ»

Гайнуллин Д.И., Ермишев О.А., Мавков Д.А., Арсланов Н.М.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казанский Квантовый Центр)

Развитие интегральной фотоники и толстопленочной микроэлектроники требует доступных и гибких технологий для быстрого прототипирования оптических элементов. Одной из таких технологий является прямая растровая литография, позволяющая формировать микроструктуры, в том числе полимерные волноводы, непосредственно из цифровых моделей. В работе представлены результаты сборки и отладки технологического процесса для научно-учебного литографа «КАИ-Квант», построенного на основе DLP (Digital Light Processing) матрицы.

Ключевыми этапами проведенной работы стали: механическая и оптическая сборка установки, включающая юстировку источника света, DLP-проектора и системы фокусировки; подбор и подготовка подложек (стекло, кремний); выбор жидкого фоторезиста в качестве основного материала для формирования волноводов.

Матрица DLP6500 представляет собой массив из более чем 2 миллионов алюминиевых микрозеркал с разрешением 1920x1080 пикселей, размером 0.65 дюйма по диагонали и шагом 7.56 мкм, где каждое зеркало может независимо переключаться между положениями ±12° со скоростью около 2.5 мкс, отражая падающий свет в видимом диапазоне (420-700 нм) с эффективностью 88% и управляясь через две 16-битные LVDS DDR шины, что позволяет достигать частоты обновления до 11574 Гц для бинарных паттернов при использовании с контроллером DLPC900.

Был разработан и оптимизирован базовый технологический маршрут, включающий нанесение резиста, мягкую предварительную сушку, экспонирование сформированным излучением, последующую термическую обработку и проявление в специальном растворителе. В процессе отладки варьировались ключевые параметры процесса: интенсивность и время экспонирования, профиль температурных стадий, скорость и время проявления.

В результате удалось получить устойчивые полимерные волноводные структуры с геометрией, близкой к расчетной. Проведена предварительная оценка оптических потерь в сформированных каналах. Основные проблемы, решенные в процессе отладки, были связаны с адгезией резиста к подложке и проявлением неэкспонированных областей без повреждения сформированных структур.

Таким образом, подтверждена работоспособность литографа «КАИ-Квант» и отработан базовый технологический процесс, позволяющий изготавливать полимерные волноводы для фотонных устройств. Данная

установка открывает возможности для учебных практик и научных исследований в области планарной интегральной оптики и толстопленочной микроэлектроники.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКТР 125012300688-6) и программой стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»), Рег. № НИОКТР 125070808154-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feng R., Farris R. J. Influence of processing conditions on the thermal and mechanical properties of SU8 negative photoresist coatings // Journal of Micromechanics and Microengineering. 2003. Vol. 13, no. 1. P. 80–88.

DEBUGGING OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF POLYMER WAVEGUIDE PATTERN LITHOGRAPHY ON THE RESEARCH-EDUCATIONAL LITHOGRAPH "KAI-KVANT" FOR PHOTONICS AND THICK-FILM MICROELECTRONICS

Gainullin D.I, Ermishev O.A, Mavkov D.A., N.M. Arslanov
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI)

This paper presents the results of the assembly and debugging of the technological process for the "KAI-Kvant" research-educational lithography system, based on a Digital Light Processing (DLP) matrix. The work was aimed at developing a reliable method for fabricating polymer waveguides for applications in integrated photonics and thick-film microelectronics. The key stages included the mechanical and optical assembly of the setup, selection and preparation of substrates (glass, silicon), and characterization of photoresist. A basic technological route was developed and optimized, comprising resist coating, soft pre-bake, exposure to light, post-exposure bake, and development. The main process parameters (exposure dose, temperature profiles, development time) were varied and optimized. As a result, stable polymer waveguide structures with geometry close to the design values were successfully fabricated. The functionality of the "KAI-Kvant" lithograph and the mastered technological process demonstrate its potential for educational practices and scientific research in planar integrated optics.

УДК 681.7.068

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ КВАНТОВОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ

Богданова Е.И., Дашков М.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Системы квантового распределения ключей (КРК) представляют собой одну из наиболее перспективных технологий развития современной криптографии. Преимущество системы КРК заключается в том, что безопасность системы базируется на фундаментальных законах квантовой механики. Данная технология уже получила практическое применение в Российской Федерации и за рубежом. Несмотря на активное развитие технологии мультиплексирования сигналов КРК и традиционных систем передачи в одном оптическом волокне, в настоящее время для реализации квантового канала требуется отдельное оптическое волокно, свободное от посторонних сигналов. При этом одной из потенциальных проблем на этапах инсталляции и эксплуатации является фоновая засветка, проявляющаяся как совокупность паразитных сигналов, проникающих в волоконно-оптический квантовый канал и влияющих на работу систем КРК [1,2]. Источниками фоновой засветки могут являться внутренние шумы, связанные с тепловым излучением оптических компонентов и люминесценцией материалов, нерегулярности в метах соединений и переходные влияния между сигналами в соседних оптических волокнах. Поскольку детекторы одиночных фотонов не различают происхождение фотона, каждый паразитный квант света воспринимается системой КРК как потенциально полезный сигнал. Это приводит к ложным срабатываниям детектора и росту коэффициента квантовых ошибок (QBER), который определяет порог безопасной работы системы КРК.

Наиболее критичным фактором фоновой засветки для случая практического применения систем КРК на действующих волоконно-оптических линиях связи будут влияния сигналов в соседних волокнах (ОВ), в особенности при передаче по ним сигналов аппаратуры спектрального уплотнения в условии использования оптических усилителей.

На рис. 1 представлена схема установки для проведения экспериментального исследования.

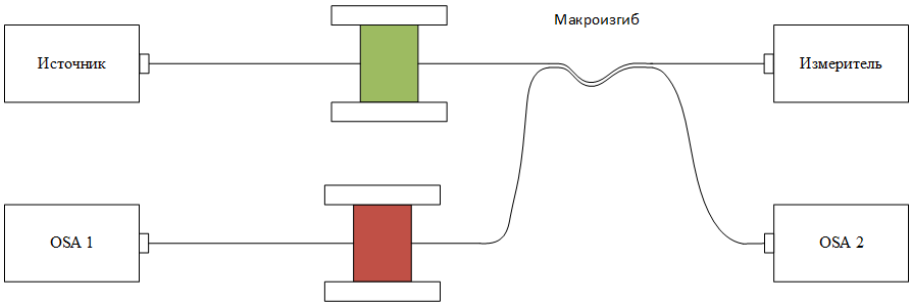
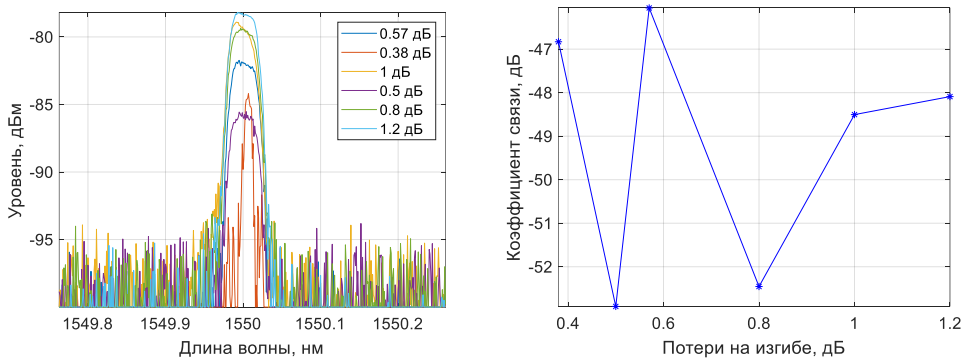


Рис.1. Схема экспериментального исследования

Взаимодействие между ОВ моделировалось путем формирования макроизгибов на плоскости при стремлении соблюдения условиях их параллельного расположения на участке деформаций. Для оценивания степени взаимного влияния использовался коэффициент связи, определяемый как отношение мощности излучения, проникающего в подверженное воздействию ОВ к мощности, которое теряется на макроизгибе влияющего ОВ.



(а) *(б)*

Рис.2. Результаты исследования: (а) спектры перекрестных помех; (б) зависимость коэффициента связи между ОВ

В результате анализа, было определено, что коэффициент связи уровень перекрестного ослабления варьировался в пределах от -52.91 до -46.05 дБ. При этом однозначной закономерности в зависимости коэффициента связи от прироста затухания во влияющем волокне не наблюдалось, что объясняется сложностью характера взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fujiwara M. et al. Photon level crosstalk between parallel fibers installed in urban area // Optics Express, Vol. 18, No. 21, pp. 22199-22207 (2010)
2. Sasaki M. et al. Field test of quantum key distribution in the Tokyo QKD Network // Optics Express, Vol. 19, Iss. 11, p.10387-10409 (2011).
3. Маркузе Д. Оптические волноводы. - М.: Мир, 1982.

ANALYSIS OF BACKGROUND LIGHTING FACTORS IN A FIBER-OPTIC QUANTUM COMMUNICATION CHANNEL

Bogdanova E.I., Dashkov M.V.
(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The study investigates the factors of background illumination in a fiber-optic quantum communication channel caused by crosstalk between adjacent optical fibers. The obtained results make it possible to assess the degree of mutual channel interference and determine the conditions ensuring reliable operation of quantum key distribution systems.

УДК 004.942, 007.2

МЕТОД ВИЗУАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСКИРОВКИ ИНФОРМАЦИИ СТЕГОСИСТЕМОЙ

Белова О.А., Шакурский М.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Оценка маскировки стеганографических систем представляет собой достаточно неоднозначную задачу, так как методика, применяемая злоумышленником неизвестна. Стандартные статистические методы, основанные на вычислении коэффициентов Кульбака–Лейблера или Пирсона [1] — позволяют проводить количественную оценку распределений значений бит стегосистем, однако не дают наглядной визуальной картины, тем более не могут выступать в качестве оценки стегоаналитиком, так как являются сравнительными, а исходного покрывающего объекта у злоумышленника нет [2].

В работе [3] предлагается использование NIST тестов на оценку случайностей. Например, младшие битовые слои, обладающие высокой степенью случайности, могут не демонстрировать явных признаков скрытой информации [4], что снижает эффективность их анализа с помощью традиционных численных методов. Использование NIST-тестов позволяет собрать определенную статистику. Предлагается использование скользящих окон к битовым слоям представления покрывающего объекта. В каждом окне последовательно оценивается один или несколько тестов, формируя массив последовательности отсчетов, которые отражают степень статистической случайности анализируемого блока [5].

Результатом является последовательность отсчетов, которые используются для определения степени случайности. Визуальная оценка результатов не удобна для обработки данных, для удобства анализа полученные значения разбиваются на корзины (например, 10) и строятся гистограммы (рис.1), чтобы отследить характер распределения тестов по уровням статистической значимости. Особое внимание уделяется младшей корзине, так как она содержит значения, наиболее отклоняющиеся от гипотезы случайности.

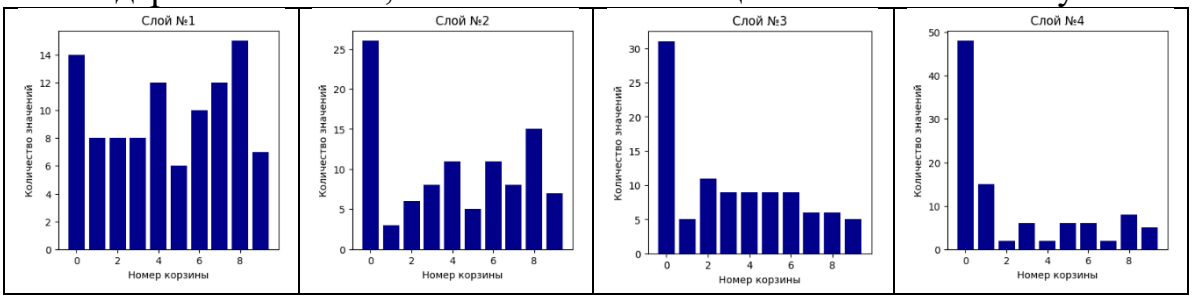


Рис. 1. Распределения значений результатов первого NIST теста слоёв первого ПО

Скопление значительного количества последовательности отсчетов в младшей корзине указывает на нарушение статистической случайности. Это

может свидетельствовать о наличии встроенного сигнала (в младших битовых слоях) или информационного (в старших слоях), тем самым позволяя визуально диагностировать аномалии.

Преимуществами предложенного метода являются:

1. наглядность: визуальное представление распределений упрощает интерпретацию при больших объемах данных и видеопотоках [6];
2. гибкость: возможность применения к различным битовым слоям и использования любого подмножества NIST-тестов;
3. информативность: позволяет выявить как явные, так и слабовыраженные отклонения от случайности;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакурский, М. В. Оценка маскировки сигнала двухкомпонентной стеганографической системой при оконной обработке информации / М. В. Шакурский, О. А. Караулова // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2023. – № 2(54). – С. 9-16.
2. A. Ker, P. Bas, R. Böhme, R. Cogranne, S. Craver, T. Filler, J. Fridrich, T. Pevný, in *IH&MMSec*, Moving steganography and steganalysis from the laboratory into the real world (ACM, 2013), pp. 45–58
3. Ахрамеева, К.А. Обнаружение видео стегосистем с использованием универсального метода, основанного на использовании NIST-тестов / К.А. Ахрамеева, В.И. Коржик, З.К. Нгуен // Труды учебных заведений связи. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 70-76.
4. Патент № 2546306 C1 Российская Федерация, МПК H04L 9/00, H04K 3/00. способ скрытой передачи информации : № 2014123912/08 : заявл. 10.06.2014 : опубл. 10.04.2015 / М. В. Шакурский, В. К. Шакурский.
5. Моделирование и анализ системы массового обслуживания общего вида с произвольными распределениями временных параметров системы / М. А. Буранова, В. Г. Карташевский, Н. В. Киреева, Л. Р. Чупахина // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13, № 3. – С. 252-258.
6. Караулова, О. А. Аппаратные и программные решения видеоконференцсвязи / О. А. Караулова, Н. В. Киреева // III Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2019 : Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Казань,. Том 1. – Казань, 2019. – С. 317-318.

A METHOD OF VISUAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF INFORMATION MASKING BY A STEGOSYSTEM

Belova O.A., Shakursky M.V.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics)

The work is devoted to the development of a methodology for visual evaluation of the effectiveness of stegosystems based on the construction of histograms of the results of NIST tests of sliding windows of bit sequences of stegosystems.

УДК 004.942, 007.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Шакурский М.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Реализация систем повышенной чувствительности на основе цифровых автоколебательных систем исследуется уже достаточно давно [1-3]. При этом исследования цифровой реализации автоколебательных систем в режиме повышенной чувствительности имеет свои особенности и рассматривается в ограниченном количестве работ [4, 5]. Основным отличием цифровой формы реализации автоколебательных систем от аналоговой является специфика настройки фазочастотной характеристики цифровых фильтров, входящих в состав автоколебательных систем [6-9]. Однако, исследования показали, что помимо особенностей настройки фазочастотной характеристики есть эффекты не характерные для аналоговых автоколебательных систем. Один из обнаруженных эффектов – срыв автоколебаний в цифровых генераторах [10].

В основе природы срыва автоколебаний лежит многозначность частот, для которых выполняется условие баланса амплитуд и баланса фаз. Данное условие является естественным следствием системы, настроенной на достаточно широкую полосу пропускания, что может быть естественным в задачах измерения [1, 3, 7]. Однако исследования показали, что данный эффект имеет место только при нетипичном [10] характере фазочастотной характеристики. Иными словами, чем ближе типичная фазочастотная характеристика к нулевой [6, 9], тем сложнее установить баланс фаз и баланс амплитуд. При нетипичной фазочастотной характеристике автоколебания срываются. Таким образом, понимание данного эффекта позволяет сформировать условия, при которых в работе автоколебательных систем не возникают участки нетипичной фазочастотной характеристики и, как следствие, не возникнет срыв автоколебаний.

В качестве заключения стоит указать, что исследование цифровых автоколебательных систем в режиме повышенной чувствительности содержит в себе ряд нерешённых задач, а их практическое применение в измерительных системах способна значительно повысить чувствительность измерительных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В., Шакурский В.К. Генераторные фазовые и частотные преобразователи и модуляторы М.: Радио и связь. 2003. 184 с.
2. Иванов, В. В. Анализ свойств управляемого генератора в режиме повышенной чувствительности / В. В. Иванов, В. К. Шакурский // Электросвязь. – 2004. – № 7. – С. 43-45.

3. Патент № 2216848 C2 Российская Федерация, МПК H03B 21/04, H03C 3/06, H03D 7/16. Способ преобразования девиации частоты периодического сигнала : № 2001112682/09 : заявл. 07.05.2001 : опубл. 20.11.2003 / В. К. Шакурский, В. В. Иванов
4. Иванов, В. В. Моделирование виртуальных автоколебательных систем в режиме повышенной чувствительности с использованием цифровых фильтров / В. В. Иванов, В. К. Шакурский, М. В. Шакурский // Школа университетской науки: парадигма развития. – 2011. – № 1(2). – С. 66-72.
5. Иванов, В. В. Синтез цифровых фильтров для генераторных преобразователей повышенной чувствительности / В. В. Иванов, В. К. Шакурский, М. В. Шакурский // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т. 55, № 7. – С. 28-31.
6. *Шакурский М.В., Иванов В.В.* Цифровые фильтры частотной выборки. Монография. Самара: Издательство СНЦ РАН. 2012. 106 с.
7. Патент на полезную модель 113597 (РФ), МПК G06F 17/14. Цифровой фильтр со смещаемой фазочастотной характеристикой. / *Шакурский В.К., Шакурский М.В.*; опубл. 20.02.2012. Бюл. № 5.
8. Шакурский, В. К. Математическая модель цифровых фильтров, реализуемых методом частотной выборки / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 2(16). – С. 98-100.
9. Патент на полезную модель № 109619 U1 Российская Федерация, МПК H03H 9/00. Цифровой фильтр с нулевой фазочастотной характеристикой : № 2011123825/08 : заявл. 10.06.2011 : опубл. 20.10.2011 / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский.
10. Шакурский, В. К. Частотная неустойчивость и срыв автоколебаний в цифровых генераторах с нетипичной фазочастотной характеристикой / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский // Радиотехника. – 2025. – Т. 89, № 2. – С. 129-135.

STUDY OF FREQUENCY INSTABILITY IN SELF-OSCILLATORY SYSTEMS OPERATING IN THE HIGH-SENSITIVITY MODE

Shakurskiy M.V.
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The article is devoted to the consideration of the issue of stability of self-oscillating systems of increased sensitivity. The studies have revealed the effect of breakdown of self-oscillations when generators operate in the mode of increased sensitivity. It is shown that the effect of breakdown is observed in the sections of the phase-frequency characteristic having an atypical slope. Conclusions are made.

УДК 004.942, 007.2

ГЕНЕРАТОР ТРЁХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шакурский М.В.
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Разработка криптографически стойких генераторов случайных чисел основана на использовании функций, стойких к выполнению обратных вычислений (задач факторизации). Примером криптографически стойкого генератора случайных чисел является алгоритм Блюм-Блюма-Шуба [1]. К недостаткам данного алгоритма относится медленная скорость работы. Тем не менее, ряд его значений может быть предсказан, а предыдущие значения теоретически вычисляемы.

Известно решение улучшающее алгоритм Блюм-Блюма-Шуба в области криптографической стойкости [2]. В работе предлагается развитие идеи данного алгоритма в направлении дальнейшего повышения криптографической стойкости. Для этого предлагается сформировать три канала генерации случайных чисел, где входными значениями каждого канала являются выходные значения двух других каналов [3, 4].

В этом случае с одной стороны система имеет шесть начальных значений, что осложняет их подбор с одной стороны, а генерация трёх каналов значительно увеличивает период повторения в системе с другой. При этом задача факторизации значительно осложняется необходимостью вычисления большего количества значений. Ну и главным достоинством является отсутствие стохастической связи между соседними значениями каждого из рядов генерируемых значений. Актуальной задачей развития данных систем является подбор параметров для обеспечения требований к статистической случайности генерируемых последовательностей [5-7] для практического применения генератора [8-10]

Таким образом, с одной стороны не решена задача повышения скорости работы системы, с другой стороны значительно повышена криптографическая сложность системы. Более того, использование только одного ряда значений из трёх генерируемых, значительно увеличивается количество внутренних состояний системы, что делает вычисление предыдущих значений невозможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Blum L., Blum M., Shub M. A simple unpredictable pseudo-random number generator // SIAM Journal on Computing. 1986. Vol. 15. P. 364–383.
2. Способ и устройство генерации последовательностей случайных чисел: патент 2716357. Российская Федерация. № 2018133894 / М.В. Шакурский (RU);заявл. 25.09.2018; опубл. 11.03.2020, бюл. № 8.

3. Шакурский, М.В. Устройство генерации трёх последовательностей случайных чисел / М.В. Шакурский // Пат. на полезн. модель 232124 Российская федерация, МПК G06F 7/58. – заявл. 20.12.2024; опубл. 25.02.2025 Бюл. № 6.
4. Шакурский М.В. Генерация трёх последовательностей случайных чисел для криптографических систем защиты информации / М.В. Шакурский, Н.И. Козырева, И.С. Макаров // «Инфокоммуникационные технологии» №3 Том 22.-Самара: Изд-во ПГУТИ, 2024. Стр. 94-99.
5. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications / A. Rukhin [et al.]. National Institute of Standards and Technology, 2010. 131 p.
6. Шакурский М.В. Программа реализации NIST тестов для анализа битных последовательностей / М.В. Шакурский, О.А. Караулова// Программа ЭВМ №2025616230 от 13.03.2025.
7. Зинин И.А. Программа для проверки случайности вещественных чисел / И.А. Зинин, М.В. Шакурский // Программа ЭВМ. №2025666613 от 26.06.2025.
8. Буранова, М. А. Анализ статистических характеристик мультимедийного трафика узла агрегации в мультисервисной сети / М. А. Буранова, В. Г. Карташевский, М. С. Самойлов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – № 4(16). – С. 63-69.
9. Поздняк, И. С. Исследование вероятностно временных характеристик трафика с помощью моделирования в ns2 / И. С. Поздняк, Н. В. Киреева // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 8. – С. 85-87.
10. Козырева, Н. И. Использование методов теории массового обслуживания для анализа блокчейн-систем / Н. И. Козырева, И. С. Макаров // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2020: XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, IV НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2020, Самара, 17–20 ноября 2020 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2020. – С. 360-361.

GENERATOR OF THREE RANDOM NUMBER SEQUENCES FOR CRYPTOGRAPHIC SYSTEMS

Shakurskiy M.V.
(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

The paper considers the issue of generating three sequences of random numbers, whereby the output values of the other two series are used to obtain each subsequent count of each series. This increases the cryptographic strength of the algorithm and makes it impossible to calculate previous values.

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады

Мисбахов Рус.Ш. РАЗВИТИЕ СЕНСОРИКИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ 8
Захарова О.И. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СЕМАНТИКО - АССОЦИАТИВНОГО АНАЛИЗА 13
Козлов С.В., Кузнецов А.С. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОГО ПРИЁМА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО СИГНАЛАМ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ, РАБОТАЮЩИХ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ 18
Тимофеев А.Л., Султанов А.Х., Аллагулов А.Ф., Мешков И.К., Гизатулин А.Р. ОДНОИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ 20
Теляубаев Т.Ю., Барбак С.В. ТЕХНОЛОГИИ IoT В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ 23
Любопытов В.С., Султанов А.Х. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ 28
Юсупов Р.А., Щербакова Т.Ф., Овчинников А.Л., Коробков А.А. МНОГОМЕРНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЭЭГ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДИНАМИКИ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ С РАС 33
Антонов В.В., Пальчевский Е.В., Родионова Л.Е. ПРОСТРАНСТВО МИНКОВСКОГО И СЕМИОТИКА В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ: ОТ СМЫСЛА ТЕКСТА К ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ СОБЫТИЙ 38
Батыршина Я.А., Гребешков А.Ю. РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ СЕНСОРНЫХ ДАННЫХ В СЕТЯХ ICN 43
Виноградова И.Л., Султанов А.Х., Мешков И.К. ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МАТРИЧНОГО ТИПА 48

Секция 1. Общие проблемы передачи и обработки информации

Кирпичникова М.Ю. ИИ В ВИДЕОНАБЛЮДЕНИИ СЕГОДНЯ 53
Мерзляков Н.Р. ФОРМИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА ДАТАСЕТА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЖАЛОБ 55
Закиров Э.И., Козлов С.В. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЛОКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ КАНАЛА СВЯЗИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ 57
Сибутин А.В., Гендель С.М., Карташевский И.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРТОРА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДАТЧИКА NTC 10K 3950 59
Сибутин А.В., Гендель С.М., Карташевский И.В. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРТОРА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ДАТЧИКА NTC 10K 3950 61
Диязитдинова А.А. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИВНОГО СОВМЕЩЕНИЯ И ИЗОБРАЖЕНИЙ 63
Кузьмин Д.А., Стефанова И.А. СЕРВИСНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ 65
Куренков В. А., Стефанова И.А. ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ 67
Феклистов А. А., Стефанова И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ EYE-TRACKING ТЕХНОЛОГИИ 69

Глушак Е.В. МАРШРУТИЗАЦИЯ В ОБЛАЧНО-ТУМАННОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ И ЗАДЕРЖЕК 71
Трошин А.В., Перминов А.Б. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ СЕТЕВОГО ТРАФИКА 73
Трошин А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ 75
Сутягина Л.Н. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНО-ТУМАННОЙ АРХИТЕКТУРЕ 77
Николаев Б.И. РАСЧЁТ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ НА СИМВОЛ И НА БИТ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ НА ПРИМЕРЕ КАМ-8 79
Хабаров Е.О., Мартышенко В.Д. ПРОЦЕДУРА ДЕКОДИРОВАНИЯ СВЁРТОЧНЫХ КОДОВ В КАНАЛАХ С РАССЕЯНИЕМ 81
Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В. ФОРМИРОВАНИЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ СИСТЕМОЙ TSUC С УПРАВЛЯЕМОЙ ВРЕМЕННОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ 83
Мишин Д.В., Тяжев А.И. КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОСТАНОВКИ ПРОЦЕССА ИТЕРАЦИОННОГО ТУРБОДЕКОДИРОВАНИЯ 85
Мишин Д.В., Григоров И.В. АДАПТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАМИРАНИЙ 87
Гладких А.А., Мишин Д.В. ИЗОМОРФИЗМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОДОВ В АРХИТЕКТУРЕ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ 89
Ульянов Д.М., Осанов В.А. ФИЛЬТРАЦИЯ УГЛА ПОВОРОТНОГО МЕХАНИЗМА СЕРВОМОТОРА В СИСТЕМЕ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ 91
Баженов А.Э. ГЕНЕРАЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GAN ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК В СЕТЯХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (HTTP/3, QUIC) 93
Бухнер А.А. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ 95
Шагарова А.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ КОРРЕКЦИИ ВЫРОЖДЕННЫХ МАТРИЦ В СИСТЕМЕ ПЕРЕСТАНОВОЧНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ 97
Ваняев Д.А., Гладких А.А. АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ 99
Яковенко И.Ю., Богатина В.А. БУДУЩИЕ МЕТОДЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТЕКСТА, СГЕНЕРИРОВАННОГО ИСКУССТВЕННЫМИ НЕЙРОСЕТЯМИ 101
Зиянбаева А.Р., Кузнецов И.В. ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ КОДИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИИ 103
Жуков С.В., Топоркова Л.В. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПОНЯТИЯ «ФИЗИЧЕСКИЙ ВАКУУМ» (ФВ) В СВЕТЕ ПОСЛЕДНИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ 105
Валиуллин Р.М., Табаков Д.П. ВНЕШНЯЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА И ЕЁ РОЛЬ В МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕНН 107
Табаков Д.П., Николаева К.Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЕГО ИМПЕДАНСА 109
Табаков Д.П., Аль-Нозайли Б.М.А., Майоров А.Г. ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА МЕТАСТРУКТУРЕ С РЕЗОНАНСНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ 111
Дудинов В.Н, Мешков И.К. КОГНИТИВНОЕ РАДИО В СЕТЯХ 6G 113
Голубничая Е.Ю., Кононец А.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ WI-FI СЕТЕЙ 115

Карпов В.Н. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛЬНЫХ РАДИОСИСТЕМ НА РАБОТУ АНАЛОГО-ИНФОРМАЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 117
Зорин З.А. ИНТЕГРАЦИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ИМР И ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ БПЛА 119
Мелёшин Ю.М. СГЛАЖИВАНИЕ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ В MIMO FMCW РАДИОЛОКАТОРЕ 121
Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А. ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ С QUASI-QAM 123
Чернова С.В. ПОСТРОЕНИЕ И НАСТРОЙКА МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ 125
Чернова С.В. РАЗВЕДОЧНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ (EDA) 127
Ганин Д.В. МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАК ИНТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫРАБОТКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ КОДОВ 129
Щепотьев И.А., Султанов А.Х., Тимофеев А.Л., Хакимов О.М. ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ, ПЕРПЕСКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ В ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО UDP 131
Майоров А.Г. ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ 133
Тлявлин А.З., Забродин Н.А., Гильманова Э.Ф., Филатов П.Е. БЕЗЭХОВАЯ КАМЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ 135
Тлявлин А.З., Забродин Н.А., Гильманова Э.Ф., Филатов П.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ 137

Секция 2. Инфокоммуникационные технологии и сети

Мухин Н.А. Шахтанов С.В. СЕТЬ LORA НА УЧАСТКАХ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ С ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТЬЮ 139
Комаров А.Н., Шахтанов С.В. ИНЖЕНЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОЙ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КАБЕЛЬНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ 141
Дарий С.В., Шахтанов С.В. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЁМКОСТИ АБОНЕНТСКОЙ СЕТИ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ В СЕЛЬСКИХ РАЙОНАХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ 143
Ермолаева О.С., Диязитдинова А.А. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЧАТ-БОТА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ 145
Карзанов Д.В., Диязитдинова А.А. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОЙ ПОЛИТИКИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПАНИЯХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 147
Марыкова Л.А. АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ ПКС/SDN 149
Марыкова Л.А. ВИРТУАЛИЗАЦИЯ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ SDN 151
Афанасьев А.С. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ И УРОВНЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 153
Глушак Е.В., Михайлова П.Д. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАЧНО-ТУМАННЫХ АРХИТЕКТУРАХ 155
Глушак Е.В. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ВАРИАЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ С УЧЕТОМ QOS-ОГРАНИЧЕНИЙ В ОБЛАЧНО-ТУМАННОЙ АРХИТЕКТУРЕ 157

Захаров В.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В IOT-СЕТЯХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 159
Росляков А.В., Гасанов Р.Р. АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ СВЯЗИ В IOT-УСТРОЙСТВЕ НА БАЗЕ M5STACK ATOM LITE 161
Росляков А.В., Гасанов Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ IOT-УСТРОЙСТВ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ M5STACK ATOM LITE 163
Иванов В.И. ЭХО-СИГНАЛЫ В СЕТЯХ СВЯЗИ 165
Росляков А.В. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ 167
Столяров Д.В. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 169
Алексахин П.А. СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С МАСШТАБИРОВАНИЕМ ТРАФИКА 171
Сазонов А.Д. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ 173
Марыков М.В., Росляков А.В. СЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА SASE 175
Михайлов В.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ТРАФИКА В СЕТЯХ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КО ВРЕМЕНИ TSN 177
Росляков А.В., Алексахин П.А., Михайлов В.А. СЕТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ CPN 179
Денесюк Н.И., Усачева М.М. СТОХАСТИЧЕСКОЕ СЕТЕВОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ CNC 181
Чемнаков А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В МОНИТОРИНГЕ СЕТИ 183
Сутягина Л.Н. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ 185
Перепеченова Д.И., Золкин А.Л. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ 187
Золкин А.Л. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ НА ПРИНЦИПАХ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ 189
Мамошина Ю.С. ИНТЕГРАЦИЯ SDR И SDN В СЕТЯХ 5G 191
Гребешков А.Ю., Жулмурзинов Д.О. МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ СЕТЕЙ МАССОВОЙ МЕЖМАШИННОЙ СВЯЗИ ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СЕТЕВОГО СЛОЯ 5G 193
Васин Н.Н., Гололобов А.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРЕГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ 195
Бубель Д.А., Коняева О.С. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ГИБРИДНОГО ЯДРА СЕТИ ГОЛОСОВОГО ДОМЕНА 197
Диязитдинова АР., Загирова А.А. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ВНЕДРЕНИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ДИСПЕТЧЕРА НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА 199
Елисеев С.Н., Степанова Н.В. ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОМЕХИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИСТЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ СПЕКТРА 201
Степанова Н.В. «КОГНИТИВНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»: БУДУЩЕЕ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РАДИОСЕТИ 203
Слипенчук К.С. ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ С ПАМЯТЬЮ ДЛЯ СИСТЕМЫ OFDM 205
Бедняк С.Г., Мосин С.Д. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КРЕАТИВНЫХ ИНДУСТРИЯХ 207
Бедняк С.Г., Пименов Д.А., Сафронов С.А. ИНТЕГРАЦИЯ ФРОНТЕНД- РЕШЕНИЙ И ЧАТ-БОТОВ 209

Коробко О. А., Диязитдинова А Р. ПРИМЕНЕНИЕ ИИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ KPI В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПАНИЯХ 211
Воронцов М.Г., Тарасов В.Н. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИОРИТЕЗАЦИИ ТРАФИКА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ 213
Щевелев К. К., Иванов А.А. ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК НА БАЗЕ IOT-УСТРОЙСТВ И SCADA-СИСТЕМЫ 215
Антипова В.Е., Воронков Г.С., Енгалычев И.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ГАС 217
Якупов Д.О., Баженов А.Э., Карташевский И.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО КОНТЕНТА 219
Якупов Д.О., Карташевский И.В. QUIC И UDP ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ВИДЕОПОТОКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ 221
Красильников А.А., Сивков В.С. МОДЕЛЬ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ 223
Ильметов К.А., Коняева О.С. АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЁТА ДЕТАЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ 225
Иванов А.И., Пятин В.Ф., Захаров А.В., Антипова Т.А., Пичугина П.Г., Кисляев А.С., Горбаченко В.И., Хуснуллина Ю.А. КЛАВИАТУРНЫЙ ПОЧЕРК В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ 227
Рябов П.А., Коняева О.С. ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ РЕНДЕРИНГА 229
Лиманова Н.И., Заводянный Д.А. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МОДУЛЕМ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА 231
Лиманова Н.И., Янгазов И.С. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАФИКА И ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ 233
Антошкин Е.А., Лиманова Н.И. ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ НЕИЗВЕСТНОГО УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩЕГО ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS RTU 235
Буранова М.А., Карташевский В.Г. ВЛИЯНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ТРАФИКА НА ПАРАМЕТРЫ QoS В ПРОГРАММИРУЕМЫХ СЕТЯХ 237
Ананьев З.Ю., Диязитдинов Р.Р. РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 239
Сидоренко А.А., Диязитдинов Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КВАДРАТУРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ 241
Евстафьева В.А., Петрякова В.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЙ СЕТЕЙ ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ: МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА 243
Старостин А.А., Карташевский И.В. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ЦИКЛИЧНОСТЬЮ В СЕТЯХ TSN 245
Герасимов В.В. РОЛЬ TSN В 6G 247
Томашевский Н.С. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПРОТОКОЛОВ TELNET-SSH НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ 249
Чернова С.В., Буримский Н.А., Голованов Р.В., Сотников Д.П. ПРИМЕНЕНИЕ MQTT ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА С ВЕДЕНИЕМ УЧЁТА РАСХОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЖИДКОСТНЫХ РЕСУРСОВ 251
Копысов А.Н. ОЦЕНКА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕКАМЕТРОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫМИ СРЕДСТВАМИ 253

Лиманова Н.И., Голикова Н.В. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 255
Лиманова Н.И., Сазонов И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЛОГИСТИКИ 257
Лысиков А.А. ОБЗОР ТРЕБОВАНИЙ МЕТАВСЕЛЕННОЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ 259
Кужин А.Г., Иванов В.В. ГИБРИДНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ БПЛА В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ БЕЗ GNSS НА ОСНОВЕ РАДИОЧАСТОТНОГО ДАЛЬНОМЕТРИРОВАНИЯ ПО ОПОРНЫМ УЗЛАМ И LiDAR-SLAM 261
Кужин А.Г., Иванов В.В. АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАДИОКАНАЛОМ ДЛЯ НИЗКОЛАТЕНТНОЙ ВИДЕОПЕРЕДАЧИ В ТОННЕЛЯХ БПЛА 263
Алексакина Я.В., Воронков Г.С., Султанов А.Х. ВРЕМЕННАЯ И СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ UWB-СИГНАЛОВ 265

Секция 3. Инфокоммуникационные космические технологии, системы радиосвязи, телевидения и мобильной связи

Борисенков А.В., Диязитдинова А.А., Голубцов Н.Н., Горячкин О.В., Кубанов В.П., Лифанов А.С. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ ПО НАБЛЮДЕНИЮ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ЦЕЛЕЙ 267
Борисенков А.В., Горячкин О.В., Лифанов А.С. НЕКОГЕРЕНТНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ДАННЫХ В РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА БПЛА 269
Новикова Д.Д. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ФАПЧ 271
Новикова Д.Д. ВЫБОР ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ АВТОГЕНЕРАТОРНЫХ СИСТЕМ С ФАПЧ 273
Панченко В.Н. ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ 275
Чингаева А.М. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД КОТЕЛЬНИКОВА ДЛЯ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ОЦЕНОК ИХ КАНАЛА С ЗАМИРАНИЯМИ 277
Коробков А.А., Гайсин А.К., Надеев А.Ф., Сафиуллин И.А., Ашаев И.П. АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ 279
Гайсин А.К., Коробков А.А., Надеев А.Ф., Сафиуллин И.А., Ашаев И.П. МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОСТЬЮ В СЕТЯХ O-RAN 281
Гребешков А.Ю., Жаворонкин Ю.В. ЗАДАЧИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА РАДИОЧАСТОТАХ RFML 283
Маскалюк В.Р., Морозов С.В. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ 285
Веденькин Д.А., Гусев И.Ю. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДИНОЧНОЙ АНТЕННЫ И АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ ДЛЯ ПРИЁМА ЛИНИИ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА 287
Сальников Р.О., Мешков И.К., Гизатулин А.Р., Султанов А.Х., Тимофеев А.Л. ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ПИЛОТ-СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СПУТНИКОВОГО СЕГМЕНТА КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ 289
Сальников Р.О. МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛА DFT-S-OFDM ДЛЯ СПУТНИКОВОГО СЕГМЕНТА КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ 291

Сальников Р.О., Мешков И.К., Гизатулин А.Р., Султанов А.Х., Тимофеев А.Л. МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ НА ОСНОВЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО СЕГМЕНТА КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ 93
Сальников Р.О. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ЧАСТОТНОГО РАССОГЛАСОВАНИЯ В СПУТНИКОВОМ СЕГМЕНТЕ КОНВЕРГЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ 295
Хайруллин Р.Н., Филиппов С.Б. РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНЫХ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МАЛОГО КЛАССА 297
Печенкин О.П., Клинов В.Д. РОЛЬ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МОНИТОРИНГЕ ИОНОСЕРЫ 299
Тяпкин П.С., Важенин Н.А., Плохих А.П. ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ СЛЕПОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ДАЛЬНЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ 301
Ашаев И.П., Сафиуллин И.А., Коробков А.А., Гайсин А.К., Надеев А.Ф. АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ХЭНДОВЕРЕ НА ОСНОВЕ RL МОДЕЛИ 303
Иванов Д.В., Кислицын А.А. АДАПТИВНЫЙ МЕТОД АКТУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЧИРПИРОВАНИЯ ПРИ РАССОГЛАСОВАНИИ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА 305
Лопухова Е.А. СОБЫТИЙНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОИСК ЛУЧА С АДАПТИВНЫМ ФУНКЦИОНАЛОМ КАЧЕСТВА В СЕТЯХ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ ДЛЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ 307

Секция 4. Защита информации в инфокоммуникационных сетях

Южаков А.А., Ощепков Н.В. ВЕРИФИКАЦИЯ УЗЛОВ В РЕЖИМЕ RTU ПРОТОКОЛА MODBUS НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 309
Шакурский М. В., Бильданов С. З. ВСТРАИВАНИЕ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМАТ JPEG 311
Шакурский М.В., Бильданов С.З. МЕТОДЫ ВСТРАИВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМАТ JPEG 313
Ибрагимова Д.В., Почепцова Д.А. УЯЗВИМОСТЬ ОДНОГО ДНЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 315
Харин В.С., Почепцова Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТИ СОТОВОЙ СЕТИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ 317
Толикина М.Ю. РАЗРАБОТКА ПЕРЕСТАНОВОЧНОГО ДЕКОДЕРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ БПЛА ОТ ПРЕДНАМЕРЕННОГО УГОНА 319
Карлышева К.О., Буранова М.А. ЭФФЕКТИВНАЯ ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ 321
Глушак Е.В., Михайлова П.Д. БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ 323
Михайлова П.Д. БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ 325
Расеева Е.В. ЦИФРОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ: КРИЗИС ДОВЕРИЯ В ЭПОХУ КИБЕРАТАК 327
Какабьян К.С. ОБНАРУЖЕНИЕ DDOS-АТАК С ПОМОЩЬЮ LSTM-АВТОЭНКОДЕРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА 329

Краснов Д.П., Почепцова Д.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К СОВРЕМЕННЫМ IoT-КАМЕРАМ 331
Ожгибесова А.С., Шабуров А.С., Южаков А.А. ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ 333
Афанасьев В.В., Шарифуллин Т.Б. РЕЖЕКТИРОВАНИЕ МАСКИРУЮЩИХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ TSUC СИСТЕМЫ 335
Белова О.А., Шакурский М.В. МНОГОУРОВНЕВОЕ ВСТРАИВАНИЕ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫЕ ЗВУКОВЫЕ ОБЪЕКТЫ 337
Киреева Н.В. DEEPFAKE И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ МЕДИАФАЛЬСИФИКАЦИЙ 339
Красюков К.В., Поздняк И.С. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АКТИВОВ ПРЕДПРИЯТИЯ 341
Нагибин Д.В., Кокоулин Р.А., Кокоулин А.Н., Южаков А.А. ПРИМЕНЕНИЕ XAI ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ MLOPS С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 343
Савин Е.А., Козырева Н.И. АНАЛИЗ УГРОЗ ИБ В IOT С ПОМОЩЬЮ КЛАССИФИКАТОРА STRIDE 345
Аникин С.А., Козырева Н.И. АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ КИБЕРАТАК: ПРИКЛАДНОЙ ПОДХОД 347
Аникин С.А., Козырева Н.И. УЧЕТ ВНЕШНИХ СОЦИО-ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ КИБЕРАТАК: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД 349
Сорокин И.А. БЕЗОПАСНЫЙ ПРОТОКОЛ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ КРИПТОГРАФИИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ .. 351
Чесноков А.Д. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ IOT: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР АЛГОРИТМА 353
Бакайкина В.Г. МЕТОДЫ ШИФРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ. 355
Бухнер А.А. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ 357
Пугин В.В. МЕТОДИКА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ ЦЕЛЕВОГО ФИШИНГА 359
Голубничая Е.Ю. СИСТЕМА РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АТАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА ICMP 361
Галеев З.З., Кабиров А.А., Дерябин Н.В., Даукаева Д.И. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ: СТРАТЕГИИ, ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЙ СУВЕРЕНИТЕТ 363
Голубничая Е.Ю., Потехин В.С., Хорьков А.О. АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ТРАФИКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТУПА К СЕТИ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНУЮ ТОЧКУ ДОСТУПА 365
Буранова М.А., Томм А.С. ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ И КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА ИНЦИДЕНТОВ 367
Соболева В.Н., Богатина В.А. КВАНТОВЫЙ КРИПТОАНАЛИЗ ЛЕГКОВЕСНЫХ ШИФРОВ ДЛЯ IOT 369
Мухамадиев А.А., Ясовеев В.Х. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ 371
Голубничая Е.Ю., Рагузин А.А. АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ АТАК С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОУРОВНЕВОГО HONEYPOT-СЕРВЕРА 373
Голубничая Е.Ю., Абраменко А.А., Белокопытов А.С. ОБНАРУЖЕНИЕ БРУТФОРС-АТАК НА SSH-СЕРВЕР МЕТОДАМИ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА 375

Буранова М.А., Ушаков В.С. АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА 377
Голубничая Е.Ю., Абраменко А.А., Белокопытов А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FAIL2BAN ДЛЯ ЗАЩИТЫ SSH-СЕРВЕРА ОТ ПОДБОРА ПАРОЛЯ 379
Вержаковская М.А., Аронов В.Ю. КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЕЁ ПЕРЕДАЧЕ ПО ОТКРЫТЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ С УЧЁТОМ ЭНТРОПИЙНО-СТОХАСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ И НЕЛИНЕЙНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ 381
Минко А.В., Вульфин А.М., Кириллова А.Д., Фахретдинов А.Р. НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОСОВЫХ DEEPFAKE АТАК 383
Минко А.В., Вульфин А.М., Кириллова А.Д., Шаймарданов А.Ф. СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ФИШИНГОВЫХ ССЫЛОК НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 385
Луцкович А.И., Кротов К.П., Вульфин А.М., Кириллова А.Д. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ КИБЕРРАЗВЕДКИ 387

Секция 5. Телемедицина, IoT

Афанасьев А.С. ОБЛАЧНЫЕ И ТУМАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЕМ В IOT-СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ 389
Глушак Е.В., Полякова И.Д. ИНТЕГРАЦИЯ ОБЛАЧНЫХ И ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ 391
Глушак Е.В., Федин А.В. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT И ОБЛАЧНО-ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ 393
Росляков А.В., Попов Н.А. «УМНАЯ» ПРИСТАВКА ДЛЯ ОСМОТРЩИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВЫГОНОВ 395
Мамошина Ю.С., Суродин В.Н. АРХИТЕКТУРА БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ (BAN) 397
Батаев А.А., Гребешков А.Ю. АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЭГ В ИНТЕРФЕЙСАХ «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР» 399
Киреева Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИИ-ТЕСТИРОВАНИЯ В IOT-РЕШЕНИЯХ 401
Коняева О.С., Симонов К.О. ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ 403
Бузова Е.А., Томашевский Н.С. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕМЕДИЦИНЕ 405
Астахова Т.Н. ПЛАНИРОВАНИЕ РАСПИСАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ 407
Хакимов О.М., Султанов А.Х., Щепотьев И.А. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИОСЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ КОГНИТИВНОГО РАДИО 409
Гарафутдинов А.А., Никишина Г.В. ADS1299 АППАРАТНОЕ ВНЕДРЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ПО SEMG 411
Валиуллин Ш.Р., Данилаев Д.П. ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ В МЕДИЦИНСКИХ УСТРОЙСТВАХ 413
Лопухова Е.А. СНИЖЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДАЧИ ЛАТЕНТНЫХ ПРИЗНАКОВ 415
Шарипов А.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЧАСТИЦ В ПОМЕЩЕНИИ 417

Секция 6. Современная элементная база и проблемы разработки телекоммуникационного оборудования

Кулиш А.М. ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ GAAS PHEMT ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ БУФЕРНОГО УСИЛИТЕЛЯ L/S-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 419
Колотов А.С., Копысов А.Н., Хворенков В.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ АППАРАТУРЫ СВЯЗИ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА 421
Гайдабрус К.Г., Бояршинов М.А. ПРИЧИНЫ И МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ ТРАКТОВ РАДИСОТАНЦИЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ 423
Филимонова Л.Н., Сташкевич Е.Д. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ 425
Филимонова Л.Н. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ OFDM 427
Насырова В.А., Иванов А.А. ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ И ТИПОВЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ 429
Абдрахманова А.Б., Васильев А.Н. МИКРОСХЕМА МАЛОШУМЯЩЕГО ТРЁХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ С–ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНЗИСТОРОВ С ДВОЙНЫМ ЗАТВОРОМ НА ТЕХНОЛОГИИ PHEMT05D 431
Пустоветов Д.Ю. МШУ С САМОСМЕЩЕНИЕМ В ДИАПАЗОНЕ 5-12 ГГЦ ПО ТЕХНОЛОГИИ GAAS 0,5 МКМ 433
Федькин Е.В., Васильев А.Н. МИКРОСХЕМА ШЕСТИРАЗРЯДНОГО ЦИФРОВОГО АТТЕНЮАТОРА С-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ PHEMT С МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНОЙ ЗАТВОРА 0,5 МКМ 435
Гуртякова Д.А., Васильев А.Н. МИКРОСХЕМА ТРЕХРАЗРЯДНОГО ЦИФРОВОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ S-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ PHEMT С МИНИМАЛЬНОЙ ШИРИНОЙ ЗАТВОРА 0.5 МКМ 437
Галочкин В.А. НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ - БИОКОМПЬЮТЕРЫ 439
Гречишников Н.В., Морозов С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ С УЧЕТОМ НЕИДЕАЛЬНОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ 441
Климов Е.В., Морозов С.В. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА И МИНИМИЗАЦИИ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ В МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ 443
Диязитдинова А.Р. ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ ИТ-ПРОЕКТОВ 445
Степанов И.В., Иванов В.В., Воронков Г.С., Султанов А.Х. СХЕМА ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА 447
Суханов Д.В. ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАБОЙНЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ 449
Томашевский Н.С. СИСТЕМА ПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ ОПТИЧЕСКАЯ 451
Хакимзянова С.И., Никитина Г.В. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДЪЕМА ТОЧЕК В ПОРТАТИВНОМ ДИСПЛЕЕ БРАЙЛЯ С ОДНОЙ КАТУШКОЙ 453
Кутлуяров Р.В., Талынев Е.А. ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ФОТОННЫХ ТЕНЗОРНЫХ ЯДЕР В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ 455

Секция 7. Проблемы подготовки специалистов в области телекоммуникаций

Кирпичникова М.Ю. ГЕЙМИФИКАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА 457

Уразбахтина Ю.О., Морозова Е.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ 459
Уразбахтина Ю.О., Морозова Е.С. ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ..... 461
Иванов В.И. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ 463
Богрянцев И.С., Коняева О.С. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЕБ-СЕРВИСЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ И ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ЦИФРОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ 465
Галеев З.З., Аккучукова А.И. ТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ..... 467
Галеев З.З., Кабиров А.А., Аккучукова А.И. МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ ОФИЦЕРОВ-СВЯЗИСТОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЦИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВООРУЖЕННЫЕ СИЛЫ 469
Шагарова А.А., Плаксина К.К. ВЕРИФИКАЦИЯ СООБЩЕНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ 471
Третьяков Е.Ю., Аликберова Е.О. ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПО В ЭПОХУ ИИ: ВНЕДРЕНИЕ ПРАКТИК АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ, ТЕСТИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ 473
Анташева В.Г. МЕСТО МЯГКИХ НАВЫКОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ..... 475
Вержаковская М.А., Анташева В.Г. ЛИДЕРСТВО И SOFT SKILLS: КЛЮЧЕВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ..... 477
Serezhkina A.E., Osadchiy I.S., Galiakberov L.M. FEATURES OF THE FORMATION OF UNIVERSAL COMPETENCIES IN PROFESSIONAL TRAINING IN THE FIELD OF “PHOTONICS AND OPTOINFORMATICS” 479
Столь А.Б. АКТУАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ МЕДИАОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ИНДУСТРИИ МЕДИА..... 481
Крылова Д.С. ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОДГОТОВКУ ИНЖЕНЕРОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ: ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ..... 483

Секция 8. Антенно-фидерные устройства специальной связи

Редкозуб Ю.В, Смусева К.В., Усков Г.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПАТЧ АНТЕНН МЕТОДОМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ МОД 485
Моргачева В.С., Смусева К.В., Усков Г.К. МЕТОДИКА СВЧ РАДИОМЕТРИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ 488
Кононов А.А., Усков Г.К. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗОНДИРОВАНИЯ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ АПЕРТУРНОЙ АНТЕННЫ С УЧЁТОМ ВЕКТОРНЫХ ЭФФЕКТОВ..... 489
Круглов А.С. РАЗРАБОТКА ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА: МЕТОДИКА И ПРАКТИКА..... 491
Круглов А.С. АНАЛИЗ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН НА МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ..... 493
Волков А.Н., Летов А.В., Можгинский В.Л. СОЗДАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ АНТЕНН ДЛЯ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА 495
Тишакова П.В., Смусева К.В., Усков Г.К. СИНТЕЗ НАПРАВЛЕННОЙ АНТЕННЫ KU-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ПОДХОДА..... 497

Нескородова О.В., Усков Г.К., Кононов А.А. ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК 499
Панин Д.Н., Моисеев А.Д. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАВНЫХ СОГЛАСУЮЩИХ ПЕРЕХОДОВ В ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ 501
Осипов О.В., Симакова А.С. О ВОЗМОЖНОСТЯХ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ОТРАЖЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ХИ-ЭЛЕМЕНТОВ 503
Большаков Е.А., Бучнев И.Ю., Осипов О.В. ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАВНОМЕРНЫХ МАТРИЦ ИЗ S-ЭЛЕМЕНТОВ И ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ 505
Осипов О.В., Энбом Е.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ С РЕЗОНАНСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧАСТОТНО СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ 507
Дементьев Л.А., Осипов О.В. РАСЧЕТ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНОГО КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ХАОТИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ К-ЭЛЕМЕНТОВ 509
Симагов Н.А., Морозов С.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ С РЕЖЕКТОРНОЙ ПОЛОСОЙ 511
Рогожникова А.В., Морозов С.В. ЗАДАЧА СИНТЕЗА ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ 513
Люкшина Д.Е., Морозов С.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЧ-ТРАКТА 515
Кибяков Д.С., Морозов С.В. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДЛОЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИАТЮРИЗИРОВАННОЙ АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ 517
Андреев В.Д., Морозов О.Г., Денисенко П.Е. РАДИОФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА В ДИАГРАММООБРАЗОВАНИИ ЧАСТОТНО-РАЗНЕСЕННЫХ АНТЕНН 519
Андреев В.Д., Морозов О.Г., Денисенко П.Е. ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РАЗНЕСЕННЫХ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО ФОРМИРОВАТЕЛЯ 521
Коперский В.В., Насыбуллин А.Р., Кириллов Г.А. СИНТЕЗ КВАЗИ-НЕОТРАЖАЮЩЕГО ФИЛЬТРА S-ДИАПАЗОНА 523
Зондаи В.Ю., Табаков Д.П. АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОУГОЛЬНОЙ СЕКТОРИАЛЬНО-СИНУСОИДАЛЬНОЙ АНТЕННЫ 525
Табаков Д.П., Николаева К.Б. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОВИТКОВОЙ РАМКИ 527
Табаков Д.П., Мачихин В.А. МЕТОД ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОКА ДЛЯ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН 529
Малкин В.Д., Табаков Д.П. РАСЧЁТ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА ТОНКОГО ПРОВОДА 531
Малкин В.Д., Табаков Д.П. РАСЧЁТ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА ПОЛОГО ЦИЛИНДРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОМЕНТОВ 533
Валиуллин Р.М., Табаков Д.П. СОБСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕНН 535
Зондаи В.Ю. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВОГО РЕЗОНАНСА ПОЛОСКОВОЙ И КОНИЧЕСКОЙ СИНУСОИДАЛЬНЫХ АНТЕНН 537

Хайруллин Р.Н., Филиппов С.Б. МИНИАТЮРИЗАЦИЯ И ШИРОКОПОЛОСНОСТЬ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ, РАБОТАЮЩИХ В СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКЕ 539
Азаров М.В. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ МЕТА-АТОМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОУМ ВОЛН ПОСРЕДСТВОМ МЕТАПОВЕРХНОСТИ 541
Безлюдников К.О. РАСЧЁТ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОТИПА ЭЛЕМЕНТА МЕТАМАТЕРИАЛА МОДИФИЦИРОВАННЫМ КЛАССИЧЕСКИМ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ..... 543
Безлюдников К.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ ПРОТОТИПОВ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАМАТЕРИАЛА 545
Бузова М.А., Вдовченко Е.С., Минкин М.А. КИРАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВИДЕ ПЛОСКИХ СПИРАЛЕЙ И МЕТАПОВЕРХНОСТИ НА ИХ ОСНОВЕ..... 547
Вдовченко Е.С., Кольчугин Ю.И., Минкин М.А. ДВУХСЛОЙНЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПЛОСКИХ СПИРАЛЕЙ 549
Журавлев А.В., Минкин М.А., Морозов Д.В. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ПОРТАТИВНОГО МУЛЬТИСИСТЕМНОГО ТЕРМИНАЛА В ТРАНСПОРТНОМ И РАЗВЕРНУТОМ ПОЛОЖЕНИИ 551
Кузнецов Я.М., Панин Д.Н. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕВЗАИМНОСТИ НЕОДНОРОДНОГО СЛОЯ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОТРАЖЕНИЕ КРОСС-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ 553
Кузнецов Я.М. НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ 555
Бузова М.А., Краминский Д.А., Копылов Д.А. ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА ДЛЯ УЗЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ MESH-СЕТЕЙ 557
Губарева О.Ю., Минкин М.А., Морозов Д.В., Носов Н.А. ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ЭМС ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ВБЛИЗИ МУЛЬТИСИСТЕМНОГО ТЕРМИНАЛА..... 559
Борисов И.Д., Нещерет А.М. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СПУТНИКОВЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ..... 561
Борисов И.Д., Нещерет А.М. ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЦЕЛЕВОМ И МЕШАЮЩЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ..... 563
Гарипов А.И., Нещерет А.М. КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПОДТВЕРЖДЕНИЕМ 565
Гарипов А.И., Нещерет А.М. КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ 567
Герасимов А.С., Клюев Д.С., Коршунов С.А., Нещерет А.М. ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПО МИКРОПОЛОСКОВОЙ РАМОЧНОЙ СТРУКТУРЕ С БИИЗОТРОПНОЙ КИРАЛЬНОЙ ПОДЛОЖКОЙ 569
Герасимов А.С., Нещерет А.М. ПЛАНАРНЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ РАЗОМКНУТЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ С БИИЗОТРОПНОЙ КИРАЛЬНОЙ ПОДЛОЖКОЙ 571
Колягин И.К., Хайруллин М.А. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ОТ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПРИЁМА..... 573
Вишняков М.Г., Морозов К.Ю., Носов Н.А. ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ 575

Кузьменко А.А., Макарихин А.М. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ В ИСПЫТАНИЯХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ 577
Коршунов С.А., Красильников А.Д. МАЛОГАБАРИТНЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ 579
Коршунов С.А. ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА СКРУГЛЕННОМ РАМОЧНОМ ПРОВОДНИКЕ С РАЗРЫВОМ 581
Коршунов С.А. ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ В СОВРЕМЕННОЙ АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ 583
Кузьменко А.А., Солдатов А.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ППФ НА ЗАПРЕДЕЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ 585
Солдатов А.А. ЛАБОРАТОРНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ 587
Солдатов А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ШПИЛЕЧНОГО ФИЛЬТРА 589
Лаврушев В.Н., Низамиев Р.Р. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ 591
Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. ТРЕХМЕРНАЯ ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЕРХРАЗМЕРНОМ ВОЛНОВОДЕ 593
Веденькин Д.А. НЕКОГЕРЕНТНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ 595
Веденькин Д.А. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ АНТЕННЫ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ 597
Гильфанова А.Ф. ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МУЛЬТИСФОКУСИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 599
Гильфанова А.Ф. МУЛЬТИСФОКУСИРОВАННЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ АНТЕННЫ 601
Гильфанова А.Ф. ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИФОКУСИРОВАННЫХ АНТЕНН 603
Катеринкина Е.Н. СИНТЕЗ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛН С ВИХРЕВЫМ ФАЗОВЫМ ФРОНТОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ МОД 605
Сайфуллин Т.Э., Топольская Е.П., Воронков Г.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ДОРОЖНОГО РАДАРА 607

Секция 9. Студенческая секция

Шатохин В.И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ РОЗЕТКИ СКРЫТОГО МОНТАЖА 609
Исаев Н.А., Филимонова Л.Н. SDR. ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ 611
Филимонова Л.Н., Пчелинцев А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ OFDM – MTFSK И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК В КАНАЛЕ С ОБЩИМИ РЕЛЕЕВСКИМИ ЗАМИРАНИЯМИ 613
Суровцев Д.Е., Филимонова Л.Н. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ PAPR В OFDM 615
Огальцов М.С., Уразбахтина Ю.О. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СВЕТОДИОДОВ В ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГИПЕРБИЛИРУБИНЕМИИ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ 617
Огальцов М.С., Уразбахтина Ю.О. ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГИПЕРБИЛИРУБИНЕМИИ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ 619
Инюкин Н.И., Почепцова Д.А. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ФРОНТИРЕ КИБЕРВОЙНЫ 621

Киреева Н. В., Янов И.В. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ..... 623
Киреева Н.В., Осипов А.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КИБЕРУГРОЗ 625
Захарова О.И., Третьяков Е.Ю., Аликберова Е.О. ТРАНСФОРМАЦИЯ DEVOPS С ПОМОЩЬЮ AIOPS: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СБОЕВ И АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРОЙ..... 627
Семдянов Д.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО УЧАСТКА ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ 629
Галеев З.З., Аккучукова А.И., Кабиров А.А., Дерябин Н.В., Даукаева Д.И. БЕЗОПАСНАЯ И НАДЕЖНАЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНА В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ..... 631
Галеев З.З., Аккучукова А.И., Кабиров А.А., Дерябин Н.В., Даукаева Д.И. ТЕЛЕМЕДИЦИНА: ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ..... 633
Чернов С.А., Фархутдинов Р.В. ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО SRR РЕЗОНАТОРА 635
Киреева Н.В., Осипов А.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КИБЕРУГРОЗ 637
Зуев Д.С., Чернова С.В. РАЗРАБОТКА МАКРОМОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ESD-ЗАЩИТЫ В СРЕДЕ ОТКРЫТОГО СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПО..... 639
Зуев Д.С., Малахов С.В. АНСАМБЛИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БРАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ 641
Зуев Д.С., Хлесткин А.Ю. МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АННОТИРОВАННЫХ ДАТАСЕТОВ ДРЕВЕСНЫХ КРОН ПО РАЗНОВЫСОТНЫМ БПЛА-СНИМКАМ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ..... 643
Богданова Е.И., Задисенцев Д.А., Гамалей К.А., Петрякова В.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ..... 646
Киевская С.Б., Фоменко В.В., Богданова Е.И. ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В ИНФРАСТРУКТУРУ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ..... 648
Макаров И.С., Шабаев В.Р. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ТЕСТА НА ПЛАТФОРМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ 649
Нефёдова Д.С, Олькова Н.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКОВ НА КАЧЕСТВО ДЕТЕКЦИИ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 651
Олькова Н.С., Нефёдова Д.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОПОТОКОВ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ОШИБОК ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ СЕТЕВЫХ ДЕГРАДАЦИЯХ..... 653
Гусева А.С., Борисов Е.А. ВЛИЯНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ОБРАБОТКУ ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ..... 655
Виноградова И.Л., Юрочкин В.М., Садыков Н.Х. РАЗРАБОТКА DATA MINING ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ ОКС-7 657

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Секция 1. Технологии оптических систем телекоммуникаций

Росляков А.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО FRONTHAUL В СЕТЯХ 5G 660
Жумаев Ф.Ш., Кузнецов А.А. ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ТЕХНИКИ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И МОНИТОРИНГА 662
Жумаев Ф.Ш., Кузнецов А.А. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКЕТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ТЕХНИКИ 664
Жумаев Ф.Ш., Кузнецов А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНОЙ ТЕХНИКИ 666
Симагина С.Г., Матвеева Е.А., Григоров И.В., Черных О.Н. СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 668
Потапов Г.С., Морозов О.Г., Нуреев И.И. РАСПОЗНАВАНИЕ КОЛЛИЗИЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДВУХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ В ОДНОЙ ЧАСТОТНОЙ ГРЕБЕНКИ 670
Галеев З.З., Мешков И.К., Гизатулин А.Р. ОПТОВОЛОКОННЫЕ ПЛАЗМОННЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ СФЕРЫ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ 672
Галеев З.З., Мешков И.К., Гизатулин А.Р. МАЛОМОДОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКОНА С «РЕВОЛЬВЕРНОЙ» СТРУКТУРОЙ 674
Нещерет А.М. ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ КИРАЛЬНОМ СЛОЕ С НАНЕСЕННОЙ ГРАФЕНОВОЙ ПОЛОСКОЙ 676
Силантьева А.А., Веретенина И.Ю., Силантьев М.В., Пигасов С.В. ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 678
Силантьева А.А., Корпачев Ю.А., Лысов А.Ю., Сергеев В.А. ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА С ИНТЕРФЕРОМЕТРОМ ФАБРИ - ПЕРО ДЛЯ НЕИНВАЗИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 680
Ali M. Almufti, O. G. Morozov, Ruaa Abbas hasson ANALYSIS AND SIMULATION OF MULTI-FREQUENCY MODULATION IN PHOTONICS FOR FLAT-PULSE GENERATION AND ADVANCED 5G OPTICAL COMMUNICATION CHANNEL TUNING 682
Валиуллин Ш.Р., Данилаев Д.П. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДЕТЕКТОРОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ 684
Мбангуе Маньянана А. Н., Шайгарданова А.Р., Воронков Г.С., Топольская Е.П. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЁТКИ НА ПЛАТФОРМЕ КНИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ 686

Секция 2. Пассивные и активные оптические компоненты волоконно-оптических линий связи и информационно-измерительных систем

Головина Е.Ю. ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ НА ОСНОВЕ ДВУХРЕЗОНАТОРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО 688
Куляс О.Л., Лошкарев А.С. СПОСОБ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ ОТОБРАЖЕНИЯ СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ВИДЕОКАМЕР 690

Гаврилова П.А., Кузнецов А.А. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ БИЕНИЙ СПЕКТРОВ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК 692
Гаврилова П.А., Кузнецов А.А. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ 694
Гаврилова П.А., Кузнецов А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕРМООПТИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ 696
Попов Б. В., Попов В. Б. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ПОНИЖЕННОЙ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ 698
Муравьёв И.Ю., Петров Н.А., Морозов О.Г. СИСТЕМА СТРУКТУРНОГО МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ БПЛА НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ РАДИОФОТОННЫХ СЕНСОРОВ 700
Муравьёв И.Ю., Петров Н.А., Морозов О.Г. АДРЕСНАЯ ВОЛОКОННАЯ БРЭГГОВСКАЯ СТРУКТУРА НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ 702
Петров Н.А., Муравьёв И.Ю., Морозов О.Г. ДАТЧИКИ СОЛЁНОСТИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ФАБРИ-ПЕРО 704
Муравьёв И.Ю., Петров Н.А., Морозов О.Г. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО КАК ДАТЧИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ 706
Грабовецкий Д.С., Морозов О.Г., Шагвалиев Т.Р., Матвеев Д.Н. ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО 708
Нигматуллин С.Н., Морозов О.Г. АНАЛИЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТЕЙ 710
Прапорщиков Д. Е. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ОДНОФОТОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ 712
Никулина Т.Г., Дашков М.В.., Евтушенко А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ 713
Иванов В.В., Степанов И.В., Воронков Г.С. СХЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРА НА ОСНОВЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА С ЧАСТОТНЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ КОЛЕБАНИЙ 715
Силаков К.А., Денисенко П.Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И РАССТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ТАНДЕМНОЙ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ 717
Казаров В.Ю., Морозов О.Г. МОНИТОРИНГ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ 719
Казаров В.Ю., Морозов О.Г. МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ГАЗА АККУМУЛЯТОРОВ 721
Потанин А.А. РАДИОФОТОННЫЙ СЕНСОР КОНСОЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА 724
Потанин А.А. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА 725
Субботин А.П., Морозов О.Г. ПУТИ РАЗВИТИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА 727
Субботин А.П., Морозов О.Г. ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭТАНОЛА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА 729
Смирнов Н.Д., Липатников К.А., Смирнов С.В. РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ 731
Смирнов Н.Д., Липатников К.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНИАТЮРНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО 733

Артемьев В.И., Аборин А.И., Ижелеев Р.Н., Смирнов Н.Д. СИСТЕМА ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР 735
Артемьев В.И., Аборин А.И., Ижелеев Р.Н., Смирнов Н.Д. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУР 737
Артемьев В.И., Камалов Б.М., Тихонов Я.С., Смирнов Н.Д., Смирнов С.В. СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ 739
Артемьев В.И., Камалов Б.М., Тихонов Я.С., Смирнов Н.Д., Смирнов С.В. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ 741
Ибрагимов Л. Д., Нуреев И. И., Белов Э. В., Артемьев В. И., Морозов О. Г., Петров Н. А. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ С РАДИОФОТОННЫМ ОПРОСОМ 743
Ибрагимов Л. Д., Нуреев И. И., Белов Э. В., Артемьев В. И., Морозов О. Г., Петров Н. А. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ С РАДИОФОТОННЫМ ОПРОСОМ (Математическая часть) 745
Губарева О.Ю., Дашков М.В., Картак В.М., Макаров И.С., Гуреев В.О., Евтушенко А.С. МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО МНОГОВОЛОКОННОГО СЕНСОРА 747
Бурдин А.В., Евтушенко А.С., Нестеров В.Г., Орлов М.А., Беляев А.А., Шурупов Д.Н., Пашин С.С., Белов М.С., Соколов В.Е., Дашков М.В., Демидов В.В., Тер-Нерсесянц Е.В., Дукельский К.В., Полищук Г.С. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ 749
Бурдин А.В., Нестеров В.Г., Орлов М.А., Евтушенко А.С., Беляев А.А., Шурупов Д.Н., Пашин С.С., Демидов В.В., Тер-Нерсесянц Е.В., Былина М.С., Дукельский К.В., Полищук Г.С. РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ МОНТАЖА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ С МНОГОМОДОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНОМ 751
Бурдин А.В., Беляев А.А., Буреев С.И., Демидов В.В., Дукельский К.В., Кашин А.И., Тер-Нерсесянц Е.В., Хохлов А.В., Шурупов Д.Н., Полищук Г.С. УЛЬТРАТОНКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА С СОХРАНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ 753
Бурдин А.В., Толен Г.Б., Бенгальский Д.М., Пономаренко Д.М., Тер-Нерсесянц Е.В., Филютич А.Ю., Шурупов Д.Н., Беляев А.А., Исаенко Д.И., Михель Г.А., Слепогин А.Ю., Абдыкадыров А.А., Былина М.С, Демидов В.В., Дукельский К.В., Полищук Г.С. РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ОТКЛИКОВ ЛОКАЛЬНОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОДНОМОДОВОЕ И 5-МОДОВОЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА 755
ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ
Бурдин А.В., Нестеров В.Г., Орлов М.А., Евтушенко А.С., Беляев А.А., Шурупов Д.Н., Пашин С.С., Демидов В.В., Тер-Нерсесянц Е.В., Былина М.С., Дукельский К.В., Полищук Г.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ НА ИЗГИБ КВАРЦЕВОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ 757
Альхуссейн А.Н.Д., Сахабутдинов А.Ж. ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ОСНОВНОЙ МОДЫ ПРИ ЧАСТИЧНОМ И ПОЛНОМ ВЫТРАВЛИВАНИИ ОБОЛОЧКИ759

Альхуссейн А.Н.Д., Сахабутдинов А.Ж. АДРЕСНАЯ ВОЛОКОННАЯ БРЭГГОВСКАЯ СТРУКТУРА С ДВУМЯ ФАЗОВЫМИ П-СДВИГАМИ И УЧАСТКОМ С ВЫТРАВЛЕННОЙ ОБОЛОЧКОЙ 761
Замураев Р.И., Степанов И.В., Топольская Е.П. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕТКИ ВВОДА-ВЫВОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОКТ НА ОСНОВЕ УСТРОЙСТВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОТОНИКИ 763
Викулов К.В., Денисенко П.Е. РАДИОФОТОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА НА ОСНОВЕ ТАФМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЧМ-СИГНАЛА 765
Мухамадиев А.А., Ясовеев В.Х. ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ 767
Бабушкин Р.А., Липатников К.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ 769
Мансуров Д.Р., Липатников К.А., Смирнов Н.Д. МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ .. 771
Яблочкин К.А. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН 773
Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Ростокина Е.А., Холодов И.Ю., Матюков М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОФОТОННОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 775
Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Ростокина Е.А., Холодов И.Ю., Матюков М.А. ВОПРОСЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЦИФРОВОГО НАКОПЛЕНИЯ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ РАДИОФОТОННОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ... 777
Нигматуллин С.Н., Морозов О.Г. АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАГРЕВА В ВОЛОКОННО ОПТИЧЕСКИХ АНЕМОМЕТРАХ ДЛЯ КВАЗИ-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОТОКА 779
Нигматуллин С.Н., Морозов О.Г. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ 781
Замалиев Р.Р., Гилязов Л.Р., Данилаев Д.П., Арсланов Н.М. ПРИМЕНЕНИЕ СТРОБИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕМНОВЫХ ОТСЧЁТОВ ЛАВИННОГО ФОТОДИОДА 783
Дашков М.В., Сосунов Д.В. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО СЕНСОРА 785
Бурдин А.В., Дашков М.В., Евтушенко А.С., Бородинов А.С., Никулина Т.В., Беляев А.А., Шурупов Д.Н., 2Зайцева Е.С., 1Пашин С.С., Демидов В.В., Тер-Нерсесянц Е.В., Дукельский К.В., Полищук Г.С. РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ПУЧКА «КРАСНОГО» ЛАЗЕРА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ОТРЕЗКОВ КВАРЦЕВЫХ КИРАЛЬНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С СЕМЬЮ ПОЛЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ СЕРДЦЕВИНАМИ И РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ НАВЕДЕННОЙ ЗАКРУТКИ 787

Секция 3. Обработка одномерных и многомерных оптических сигналов

Шилов Д. О., Козлова Е. С. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СУПЕРПОЗИЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ВИДЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ С ПОМОЩЬЮ ALEXNET И RESNET 789
Диязитдинова А.А. МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФЕРУЛ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ 791
Куляс О.Л., Лошкарев А.С. ОБНАРУЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА 793

Кришталь К.Е. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ДАННЫМ КОГЕРЕНТНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ КОНВЕЙЕРА ПРЕДОБРАБОТКИ И ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ 795
Степанов И.В., Любопытов В.С., Топольская Е.П. ПОДХОД К ДИЗАЙНУ ФОТОННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕШЁТОК ВВОДА-ВЫВОДА 797
Захаров А.В., Неупокоева А.В., Братченко И.А., Братченко Л.А, Захаров В.П. РАМАНОВСКАЯ ЖИДКОСТНАЯ БИОПСИЯ: НОВЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ РАССЕЯННОГО СКЛЕРОЗА 799
Васин Н.Н., Диязитдинов Р.Р., Какабьян К.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЯРКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 801
Диязитдинов Р.Р. ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЯРКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ..... 803
Колобов А.А., Камалеева А.А., Валеев Б.И. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ 805
Колобов А.А., Камалеева А.А., Валеев Б.И. ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ КАСКАДИРОВАННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ..... 807
Камалеева А.А., Валеев Б.И., Сахабутдинов А.Ж. ФОРМАЛИЗМ МАТРИЦ РАССЕЯНИЯ И ПЕРЕДАЧИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ..... 809
Kamaleeva A.A., Valeev B.I., Sakhabutdinov A.Zh. TRANSFER MATRIX FORMALISM AND ITS APPLICATION TO THE DESCRIPTION OF CASCADED OPTICAL SYSTEMS..... 811
Kamaleeva A.A., Valeev B.I., Sakhabutdinov A.Zh. THE REDHEFFER STAR PRODUCT AND ITS APPLICATION TO THE DESCRIPTION OF CASCADED OPTICAL SYSTEMS..... 813
Хорин П.А., Дзюба А.П., Серафимович П.Г., Хонина С.Н., Казанский Н.Л. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ АБЕРРИРОВАННОГО ВОЛНОВОГО ФРОНТА МНОГОКАНАЛЬНЫМ ДИФРАКЦИОННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ, СОГЛАСОВАННЫМ С ДЕФОКУСИРОВАННЫМИ ВОЛНОВЫМИ АБЕРРАЦИЯМИ.... 815
Гарафутдинов А.А., Сибгатуллин М.Э., Арсланов Н.М. ГИБРИДНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ TCN-LSTM ДЛЯ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ СЛУЧАЙНОСТИ БИНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕ НА ПРИМЕРЕ ТЕСТА NIST RUNS..... 817
Мавков Д.А., Сибгатуллин М.Э., Гилязов Л.Р., Арсланов Н.М. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОСТОБРАБОТКЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ 819
Камалов А.И., Сибгатуллин М.Э., Арсланов Н.М. ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛУЧАЙНОСТИ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ХЕШИРОВАНИЯ ТЁПЛИЦА 821
Абдулнагимов А.И., Ахунов О.М. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОДСЧЕТА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОРАЗМЕРОВ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ..... 823

Секция 4. Техническое обслуживание, контроль и восстановление оптических сетей связи

Попов Б.В., Попов В.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И РАДИУСА ИЗГИБА..... 826
Попов Б.В., Попов В.Б. ВЫТЯГИВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ИЗ ОПТИЧЕСКОЙ МУФТЫ В КАБЕЛЯХ ОДНОМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ..... 828

Секция 5. Нанофотоника и квантовые коммуникации

Киселев Д.А., Осипов О. В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИЧЕСКОГО КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ МОД В ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ 830
Гребешков А.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ КАЛМАНА В КВАНТОВЫХ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЙ 832
Муратов Р.М., Морозов О.Г., Силантьева А.А. РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА НА КРОВАТИ. ФОТОННАЯ ЧАСТЬ 834
Муратов Р.М., Морозов О.Г., Силантьева А.А. РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА НА КРОВАТИ. РАДИОЧАСТОТНАЯ ЧАСТЬ 836
Потапов Г.С., Морозов О.Г., Нуреев И.И. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ МНОЖЕСТВА ЛОКАЦИОННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ РАДИОФОТОННЫМ МЕТОДОМ 838
Проскуряков А.Д., Морозов О.Г., Нуреев И.И. РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРЕ 840
Проскуряков А.Д., Морозов О.Г., Нуреев И.И. РАДИОФОТОННАЯ ИНТЕРРОГАЦИЯ ДАТЧИКА-ДИАФРАГМЫ УРОВНЯ ВОДЫ 842
Жуков С.В., Топоркова Л.В. ВОЗМОЖНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ СПИНОВЫХ ВОЛН В ФИЗИЧЕСКОМ ВАКУУМЕ (ФВ), ИСХОДЯ ИЗ МОДЕЛИ ДИРАКА 844
Жуков С.В., Топоркова Л.В. СВЯЗЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ТОНКОЙ СТРУКТУРОЙ ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА (ФВ) 846
Габдулхаков И.М., Морозов О.Г., Нуреева А.И. УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ, НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТ 848
Габдулхаков И.М., Морозов О.Г., Нуреева А.И. УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ, НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТ 850
Гарифуллин А. И., Болдышева В. К., Ермишев О. А., Арсланов Н. М. РАСЧЕТ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ И ОЦЕНКА ДОБРОТНОСТИ НАНОФОТОННОГО РЕЗОНАТОРА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ И НИТРИДА КРЕМНИЯ 852
Ермишев О. А., Болдышева В. К., Гарифуллин А. И., Арсланов Н. М. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОМОДОВОГО ПОЛИМЕРНОГО ВОЛНОВОДА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ДВУХФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ 854
Мавков Д.А., Гайнуллин Д.И., Ермишев О.А., Арсланов Н.М. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТОГРАФОМ «КАИ-КВАНТ» НА ОСНОВЕ ФОРМАТА GDSII 856
Идрисова Л.А., Арсланов Н. М., Моисеев С.А. ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ИМПУЛЬСА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ ОДНОФОТОННОГО СОСТОЯНИЯ В ВОЛНОВОДНО-РЕЗОНАТОРНОЙ СИСТЕМЕ 858
Болдышева В. К., Ермишев О. А., Гарифуллин А. И., Арсланов Н. М. ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРНОГО ДЕЛИТЕЛЯ СВЕТА НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ 860
Гайнуллин Д.И., Ермишев О.А., Мавков Д.А., Арсланов Н.М. ОТЛАДКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАСТРОВОЙ ЛИТОГРАФИИ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА НАУЧНО-УЧЕБНОМ ЛИТОГРАФЕ «КАИ-КВАНТ» 862
Богданова Е.И., Дашков М.В. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ КВАНТОВОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ 864
Белова О.А., Шакурский М.В. МЕТОД ВИЗУАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСКИРОВКИ ИНФОРМАЦИИ СТЕГОСИСТЕМОЙ 866

Шакурский М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ..... 868
Шакурский М.В. ГЕНЕРАТОР ТРЁХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ..... 870

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat − текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Материалы
XXVII Международной научно-технической конференции
(г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.)

ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Материалы
XXIII Международной научно-технической конференции
(г. Уфа, 5–7 ноября 2025 г.)

Электронное издание сетевого доступа

За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.
Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 26.12.2025 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 27,73 Мб.
Заказ 396.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: ric-bdu@yandex.ru