

На правах рукописи



Кузнецов Андрей Сергеевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМ СОВМЕСТНОГО
ПРИЁМА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО СИГНАЛАМ
СИСТЕМ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ, РАБОТАЮЩИХ В
ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ**

Специальность 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань, 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ) на кафедре радиоэлектронных и телекоммуникационных систем.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Козлов Сергей Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
Горячкин Олег Валериевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Телекоммуникационные системы» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
Мешков Иван Константинович

Ведущая организация: **Акционерное общество «Концерн «Созвездие», г. Воронеж**

Защита диссертации состоится «11» июня 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.479.07 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» по адресу: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» и на сайте <https://uust.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 20__ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



А.М. Вульфин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время значительное внимание уделяется системам связи с подвижными объектами. В связи с ограниченностью частотного ресурса сигналы этих систем при передаче взаимодействуют между собой, образуя поток внутрисистемных помех, снижающий пропускную способность систем связи до 30-40%. Также сигналы этих систем при распространении от передатчика к приемнику взаимодействуют со средой и объектами, расположенными на пути распространения. Это приводит к искажениям сигналов, которые компенсируются на приемной стороне без учета информации об их природе. Для комплексного описания взаимодействия сигналов со средой и объектами в отчёте о НИР «Вихрь» была разработана концепция «информационного поля» и показано, что применение этой концепции позволяет закрыть практически весь перечень задач современных радиосистем – позиционирование, локация, целеуказание, постановка помех, фокусировка излучения и др.

При решении этих задач, как правило, необходимо осуществлять как совместный приём сигналов, так и позиционирование устройств системы. В настоящее время для приёма сигналов и определения местоположения объектов используют две отдельные системы. Однако в связи с рядом факторов и условий системы позиционирования могут не работать в зоне покрытия систем связи, а существующие решения навигационной задачи с помощью систем связи не обеспечивают достаточно точное позиционирование объектов. Обеспечить корректное позиционирование объектов в рамках системы связи возможно с использованием принципов информационного поля (ИП), предусматривающих совместный учёт информации о потоках данных, характеристиках среды распространения, расположении объектов поля и их взаимодействия. Следовательно, актуальной является задача разработки методов и реализующего их алгоритма совместного приёма и позиционирования объектов по сигналам только систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы совместного приёма сигналов подробно рассмотрены в работах Абрамовича Ю.И., Фальковича С.Е., Шинакова Ю.С., Ширмана Я.Д., Тихонова В.И., Шевцова В.А., Чабдарова Ш.М., Надеева А.Ф., Файзуллина Р.Р., Козлова С.В., Verdu S. и др. Основной целью этих работ являлось повышение достоверности приёма информации в системах связи путём повышения качества оценивания параметров радиосигналов. Применительно к системам связи с подвижными объектами важно выделить труды Козлова С.В., посвящённые разработке вероятностной мультимарково-полигауссовой (ММ-ПГ) модели, на базе которой реализованы методы и алгоритмы совместного приёма сигналов систем связи с кодовым разделением каналов. Разработанная модель позволяет учесть переменные параметры сигналов и различные ситуации в канале, однако вопросы её применения для совместного приёма сигналов и позиционирования объектов по сигналам систем

связи с подвижными объектами на основе принципов информационного поля остаются открытыми.

Решение задачи позиционирования в системах связи с подвижными объектами в подавляющем большинстве осуществляется по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Этому посвящены работы Перова А.И., Болденкова Е.Н., Шатилова А.Ю., Тисленко В.И., Мешкова И.К., Psiaki M.L., Ziedan N.I., Petovello M.G. и др. Основной целью этих работ являлось повышение точности позиционирования объектов путём оценки радионавигационных параметров сигналов СРНС.

Решение задач совместного приёма сигналов и позиционирования объектов по сигналам только систем связи с подвижными объектами возможно с использованием принципов информационного поля. Применению принципов информационного поля посвящены работы Васильева Д.В., Горячкина О.В., Чабдарова Ш.М., Козлова С.В., Спириной Е.А., Закирова Э.И., Ginolhas G., Schmitt F., Daout F., Forster P. Однако решение задачи совместного приёма сигналов и позиционирования объектов по сигналам только систем связи, работающих в информационном поле, в них не было рассмотрено.

Поэтому разработка методов и реализующего их алгоритма, позволяющих осуществлять совместный приём сигналов и позиционирование объектов по сигналам только систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, будет являться решением важной научно-технической задачи расширения функциональных возможностей систем связи с подвижными объектами.

Объектом исследования являются системы связи с подвижными объектами, работающие в информационном поле.

Предметом исследования являются методы совместного приёма сигналов и позиционирования объектов по сигналам только систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле.

Целью работы является решение важной научно-технической задачи расширения функциональных возможностей систем связи с подвижными объектами за счёт разработки методов и реализующего их алгоритма совместного приема сигналов и позиционирования объектов только по сигналам этих систем на основе принципов информационного поля.

Для достижения поставленной **цели** необходимо решить следующие **основные задачи**:

- Модифицировать обобщённую модель сигналов информационного поля применительно к системам связи с подвижными объектами, работающим в информационном поле, для адекватной оценки расстояния между объектами.

- Разработать стенд, позволяющий проводить анализ сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле.

– Разработать метод оценки параметров сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, на базе ММ-ПГ модели, обеспечивающий повышение отношения правдоподобия получаемых оценок.

– Разработать метод оценки навигационных параметров по сигналам только систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, обеспечивающий снижение среднеквадратического отклонения получаемых оценок.

– На основе принципов информационного поля разработать алгоритм совместного приёма сигналов и позиционирования объектов, реализующий разработанные методы, и оценить его эффективность для систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле.

Методология и методы исследования. В работе используется аппарат вычислительной математики, аппарат дискретной математики, методы математической статистики и математического моделирования, методы кодирования и передачи сигналов, принципы программирования на языке MATLAB.

Степень достоверности результатов основана на корректном использовании существующего и разработанного математического аппарата, на проведении математического моделирования разработанного алгоритма с использованием экспериментально полученных данных, согласованности результатов моделирования и экспериментальных исследований, а также на фактах использования полученных научно-технических результатов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в расширении функциональных возможностей систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, путём разработки методов и реализующего их алгоритма совместного приема сигналов и позиционирования объектов только по сигналам этих систем за счёт разработки:

1. метода оценки параметров сигналов на базе ММ-ПГ модели, отличающегося учетом гипотез о направлениях движения объекта и обеспечивающего повышение отношения правдоподобия получаемых оценок;

2. метода оценки навигационных параметров, отличающегося учетом гипотез о направлениях движения объекта и обеспечивающего снижение среднеквадратического отклонения получаемых оценок;

3. оригинального алгоритма совместного приёма сигналов и позиционирования объектов, учитывающего принципы информационного поля, отличающегося учетом навигационных параметров при приёме сигналов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в:

1. развитии теории ММ-ПГ моделей для оценки сигнальных и навигационных параметров систем, работающих в информационном поле;

2. повышении достоверности приёма информации за счет повышения отношения правдоподобия оценок сигнальных параметров и борьбе с замираниями

сигнала путём учёта гипотез о направлении движения объекта и коррекции задержек пилот-сигналов по эквивалентным изменениям оценок координат;

3. снижении среднеквадратического отклонения оценок навигационных параметров за счёт учёта динамики движения объектов с использованием конечного количества элементарных компонент.

Реализация и внедрение результатов работы.

Разработанные в рамках диссертационных исследований аппаратно-программные методы анализа и оценки параметров сигналов, на базе ММ-ПГ модели, а также метод оценки навигационных параметров, по сигналам систем связи, работающих в информационном поле, используются при разработке перспективных беспроводных систем связи на предприятии ООО НПП «РЭТ». Также результаты работы используются при выполнении дипломного проектирования по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Положения, выносимые на защиту:

1. Модифицированная модель сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, обеспечивающая адекватную оценку расстояния между объектами.

2. Стенд, позволяющий проводить анализ сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле.

3. Метод оценки параметров сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, учитывающий динамику движения объектов с использованием ММ-ПГ модели и обеспечивающий повышение отношения правдоподобия получаемых оценок.

4. Метод оценки навигационных параметров систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, учитывающий динамику движения объектов с использованием конечного количества элементарных компонент и обеспечивающий снижение среднеквадратического отклонения получаемых оценок.

5. Алгоритм совместного приёма сигналов и позиционирования объектов для систем связи с подвижными объектами, использующий принципы информационного поля и позволяющий более чем в 2 раза повысить отношение правдоподобия оценок параметров сигналов и более чем в 2 раза снизить среднеквадратическое отклонение оценок координат для подвижных объектов.

Апробация результатов.

Теоретические и практические результаты, полученные автором, докладывались на международных и всероссийских научно-технических конференциях:

– XX Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (г. Уфа, 2018);

- Международная молодежная научная конференция «XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (г. Казань, 2019);
- XXI Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (г. Казань, 2019);
- XXII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (г. Самара, 2020);
- Международная молодежная научная конференция «XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (г. Казань, 2021);
- LI Международная научно-техническая конференция 2024 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2024) (г. Выборг, 2024);
- XII Международная молодежная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025» (г. Казань, 2025).

Публикации. По материалам исследования опубликовано 17 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 10 работ в сборниках трудов и материалах конференций, одна из которых входит в базу цитирования Scopus, одна статья в журнале, индексируемом в РИНЦ, получены два свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует пунктам № 1 «Разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций», № 2 «Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций», № 18 «Разработка научно-технических основ создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования» паспорта специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Личный вклад автора заключается в том, что им сформулирована цель исследования, поставлены задачи, обеспечивающие её решение, получены и обоснованы новые научные результаты, в том числе сформулированы основные положения, выводы и рекомендации по защищаемой работе. Автором разработаны алгоритм и тексты программ реализации методов совместного приёма сигналов и позиционирования объектов по сигналам систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле.

Структура и объём диссертации.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и обозначений и приложения. Общий объём составляет 127 страниц, основной текст работы изложен на 95 страницах, содержит 35 рисунков, 8 таблиц, 2 приложения. В список литературы включено 109 наименований.

Структура диссертации основана на методологии проектирования радиоинтерфейса систем связи, разработанной в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Козлова Сергея Владимировича на тему «Методы и алгоритмы оптимизации радиоинтерфейса систем связи с кодовым разделением каналов на основе новых смесевых вероятностных моделей».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы исследования, сформулирована цель работы и решаемые задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимости, форма апробации и внедрение результатов диссертационных исследований, основные положения, выносимые на защиту, указана структура диссертации, аннотированное содержание каждой главы.

В первой главе «Анализ возможностей концепции информационного поля для оценки параметров сигналов» проведён анализ существующих методов совместного приёма сигналов, позиционирования объектов и концепции ИП.

Показано, что в существующих работах, посвящённых разработке методов оценки параметров сигналов этих систем, не учитываются причины изменений и искажений сигналов, вызванных свойствами среды и движением объектов.

Сделан вывод, что системы связи и навигации используют для передачи широкополосные сигналы со схожей структурой. Методы приёма и обработки этих сигналов опираются на единый математический базис и близкие по концепции научно-технические подходы, а алгоритмы обработки сигналов этих систем, в общем, оценивают одни и те же параметры (задержки, частоты, фазы и пр.). Однако так как к этим системам предъявляются разные требования, то и цели разработки методов и алгоритмов оценки параметров сигналов различны, что не позволяет решить обе задачи на базе одной системы.

Совместное решение задач приёма сигналов и позиционирования объектов возможно в рамках концепции ИП. Эта концепция предполагает учет и анализ всего многообразия объектов, сигналов и их параметров, образующих ИП, что позволяет в рамках единой системы осуществлять совместное решение широкого круга радиотехнических задач, используя единую методологию и общие научно-технические подходы.

В этом случае под ИП понимается совокупность всех физических по природе сигналов (электрических, акустических, электромагнитных, оптических), существующих в определённой области пространства, которая в реальном времени содержит информацию о потоках данных, характеристиках среды распространения, взаимодействии и расположении объектов поля.

В диссертации приводится классификация объектов ИП, а также работы, посвящённые решению частных задач на основе обработки сигналов информационного поля. Однако возможность решения задачи совместного приёма

сигналов и позиционирования объектов в рамках единой системы в этих работах не рассматривается.

Далее в диссертации модифицирована сигнальная модель, учитывающая необходимость корректного определения местоположения объектов, в которой анализируется только прямой луч, поскольку время прихода остальных лучей зависит не только от расстояния между объектами ИП:

$$U_k(t, P^n) = \sum_{n^A=1}^{N^A} K(P^n, P^{n^A} | \{P^N\}) \cdot S_k^{n^A}(t - \tau^{n^A n}) + n(t, P^n), \quad (1)$$

где $U_k(t, P^n)$ – сигнал ИП при передаче k -го кодового символа в точке расположения n -го объекта P^n с координатами $(x^n(t), y^n(t), z^n(t))$, который формируется N^A активными объектами, излучающими сигналы $S_k^{n^A}(t)$, а $K(P^n, P^{n^A} | \{P^N\})$ и $\tau^{n^A n}$ – коэффициент потерь и задержка при распространении сигнала от n^A -го активного объекта до точки расположения n -го объекта P^n , с учетом влияния всего множества объектов $\{P^N\} = \{P^1, P^2, \dots, P^N\}$, $n(t, P^n)$ – шумовой процесс в точке расположения n -го объекта.

Для исследования свойств сигналов ИП и экспериментальной проверки полученных решений был разработан стенд, осуществляющий формирование, приём и обработку сигналов ИП. Для этого в диссертации выбрана технология передачи информации, проведён анализ и выбор метода определения местоположения объектов, разработаны структурные схемы устройства формирования информационного поля, устройств приёма и обработки сигналов информационного поля. Приведены выражения для анализа динамики изменения параметров сигналов.

Во второй главе «Разработка методов и реализующего их алгоритма совместного приёма и позиционирования по сигналам систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле» показано, что определение местоположения неподвижного объекта возможно с использованием псевдодальномерного метода. Однако для подвижных объектов необходимо применение следящей системы за сигнальными и навигационными параметрами. При этом местоположение подвижного объекта P^n определяется в начальный момент времени с помощью псевдодальномерного метода, а далее радиально-скоростным методом.

Для оценки параметров сигналов в работе разрабатывается метод отслеживания текущих значений сигнальных параметров в точке P^n , использующий «точные» квадратуры $I_{kP}^{n^A n}, Q_{kP}^{n^A n}$ сигналов пришедших от n^A -го активного объекта, а также «ранние» $I_{kE}^{n^A n}, Q_{kE}^{n^A n}$ и «поздние» $I_{kL}^{n^A n}, Q_{kL}^{n^A n}$ квадратуры для оценки направления их изменения. Для учёта возникающих при передаче информации внутрисистемных помех необходима совместная обработка этих квадратур с использованием методов векторной фильтрации. Для учёта движения объекта требуется применение

векторной нестационарной фильтрации – в простейшем случае фильтра Калмана. А для учёта динамики движения необходимо использовать многоальтернативный подход. Распространённые многоальтернативные методы используют моногауссовы модели, не позволяющие эффективно учесть динамику движения, либо полимарковские модели, порождающие показательную вычислительную сложность во времени. Поэтому для оценки параметров сигналов подвижных объектов предложено использовать многоальтернативный подход с использованием ММ-ПГ вероятностной модели, применение которой обеспечивает ограничение количества компонент с переменными параметрами за счёт учёта конечной истории.

Сформировано множество гипотез о направлении движения объектов для систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, и критерий выбора достаточного количества гипотез. Он заключается в выборе минимального количества гипотез, при котором значения плотностей распределения вероятности смежных гипотез при движении объекта по биссектрисе угла между смежными гипотезами были бы соизмеримы со значением плотности распределения вероятности гипотезы в случае движения по азимутальному углу этой гипотезы (рисунок 1).

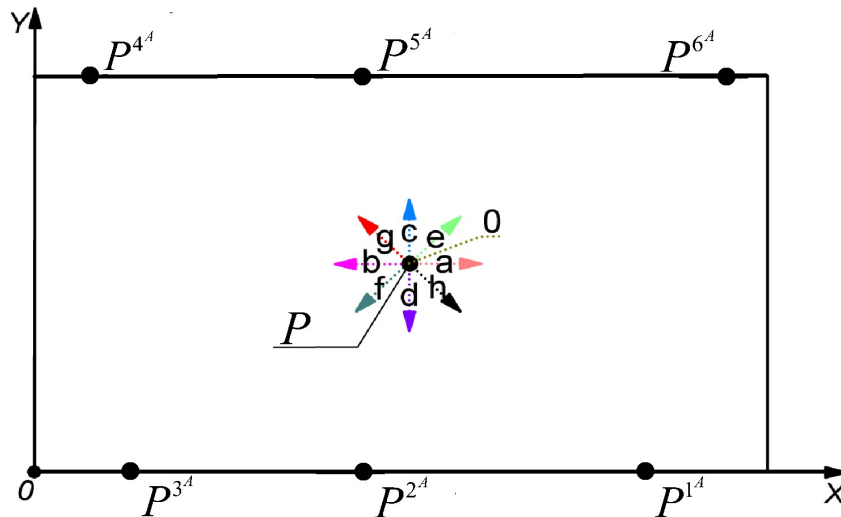


Рисунок 1 – Пример формирования 9 гипотез о направлениях движения объекта в двумерном пространстве

Так как далее в работе рассматривается совместный приём сигналов и позиционирование n -го объекта, то далее индекс n опущен.

Тогда вектор значений точных, ранних и поздних квадратур от N^A объектов на интервале приёма k -го кодового символа имеет вид

$$\vec{IQ}_k = (I_{kP}^{1^A}, Q_{kP}^{1^A}, I_{kE}^{1^A}, Q_{kE}^{1^A}, I_{kL}^{1^A}, Q_{kL}^{1^A}, \dots, I_{kL}^{N^A}, Q_{kL}^{N^A})^T.$$

В рамках ММ-ПГ модели описание гауссово-марковской последовательности на уровне компонент осуществляется с помощью векторного фильтра Калмана (ФК). Моделью помех является аддитивный белый гауссов шум и внутрисистемные помехи, учитываемые при векторной обработке квадратур сигналов.

Исходными данными для ФК являются полученные на предыдущем шаге оценки вектора $\vec{A}_{(k-1)}^i = \left(\hat{I}_{(k-1)P}^{1^A i}, \hat{Q}_{(k-1)P}^{1^A i}, \hat{I}_{(k-1)E}^{1^A i}, \hat{Q}_{(k-1)E}^{1^A i}, \hat{I}_{(k-1)L}^{1^A i}, \hat{Q}_{(k-1)L}^{1^A i}, \dots, \hat{I}_{(k-1)L}^{N^A i}, \hat{Q}_{(k-1)L}^{N^A i} \right)^T$ и матрицы их ковариаций $\mathbf{R}_{(k-1)}^i$ для гипотезы $i = \overline{1, N_{hyp}}$. Задачей ФК является получение оценки вектора $\vec{A}_k^{ij} = \left(\hat{I}_{kP}^{1^A ij}, \hat{Q}_{kP}^{1^A ij}, \hat{I}_{kE}^{1^A ij}, \hat{Q}_{kE}^{1^A ij}, \hat{I}_{kL}^{1^A ij}, \hat{Q}_{kL}^{1^A ij}, \dots, \hat{I}_{kL}^{N^A ij}, \hat{Q}_{kL}^{N^A ij} \right)^T$, матрицы ковариаций \mathbf{R}_k^{ij} и весов q_k^{ij} при использовании предсказания, соответствующего гипотезе о направлении движения объекта $j = \overline{1, N_{hyp}}$.

Синтезирована модель элементарной компоненты, в рамках которой связь компонент с вектором значений точных, ранних и поздних квадратур от N^A объектов на интервале приёма k -го кодового символа \vec{IQ}_k описывается матрицей \mathbf{h}_k корреляционных соотношений векторов соответствующих пилот-сигналов $\vec{\psi}_{kr^{n^A}n_I}^{n^A}$, $\vec{\psi}_{kr^{n^A}n_Q}^{n^A}$.

Согласно теории полигауссовых моделей на интервале приёма кодового символа реализуется только одна из N_{hyp} гипотез. Тогда уравнение наблюдения определяется как:

$$\vec{IQ}_k = \mathbf{h}_k \vec{A}_k^i + \vec{n}_k, \quad (2)$$

где \vec{n}_k – вектор отсчётов аддитивного белого гауссовского шума.

С учётом возможной коррекции задержек пилот-сигналов r^{n^A} , уравнение состояния для элементарных компонент \vec{A}_k^{ij} описывается как:

$$\vec{A}_k^{ij} = \mathbf{B}_k^j \cdot \left(\vec{A}_{k-1}^i + \vec{U}_k \right) + \vec{\mu}_k^j, \quad (3)$$

где $\vec{U}_k = \left(U_{klP}^{1^A}, U_{kQ_P}^{1^A}, U_{klE}^{1^A}, U_{kQ_E}^{1^A}, U_{klL}^{1^A}, U_{kQ_L}^{1^A}, U_{klP}^{2^A}, \dots, U_{kQ_L}^{N^A} \right)^T$ – вектор отсчётов управляющего воздействия, $\vec{\mu}_k^j$ – формирующий шум, с ковариационной матрицей \mathbf{D}_k^j , а \mathbf{B}_k^j – блочная матрица предсказания для j -го направления движения с блоками вида:

$$\mathbf{B}_k^{jn^A} = \begin{pmatrix} B_{kl}^{jn^A} & -B_{kQ}^{jn^A} \\ B_{kQ}^{jn^A} & B_{kl}^{jn^A} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

На этапе предсказания осуществляется вычисление вектора оценок \vec{A}_k^{ij} и его ковариации $\tilde{\mathbf{R}}_k^{ij}$:

$$\begin{aligned} \vec{A}_k^{ij} &= \mathbf{B}_k^j \cdot \left(\vec{A}_{k-1}^i + \vec{U}_k \right), \\ \tilde{\mathbf{R}}_k^{ij} &= \mathbf{B}_k^{jT} \mathbf{R}_{k-1}^i \mathbf{B}_k^j + \mathbf{D}_k^j. \end{aligned} \quad (5)$$

Далее на этапе коррекции вычисляются итоговое значение ковариации $\hat{\mathbf{R}}_k^{ij}$, вектор коррекции \vec{A}_k^{ij} и итоговая оценка вектора \vec{A}_k^{ij} элементарной компоненты:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{R}}_k^{ij} &= \left[\left(\tilde{\mathbf{R}}_k^{ij} \right)^{-1} + \mathbf{h}_k^T \left(\boldsymbol{\sigma}_k^2 \right)^{-1} \mathbf{h}_k \right]^{-1}, \\ \tilde{\mathbf{A}}_k^{ij} &= \left(\hat{\mathbf{R}}_k^{ij} \mathbf{h}_k^T \left(\boldsymbol{\sigma}_k^2 \right)^{-1} \right) \left(\overline{IQ}_k - \mathbf{h}_k \tilde{\mathbf{A}}_k^{ijT} \right), \\ \tilde{\mathbf{A}}_k^{ij} &= \tilde{\mathbf{A}}_k^{ij} + \tilde{\mathbf{A}}_k^{ij},\end{aligned}\quad (6)$$

где σ_k^2 – дисперсия шума измерения.

Плотности распределения вероятностей элементарных компонент $W_k^{ij}(\overline{IQ}_k)$ определяются как:

$$W_k^{ij}(\overline{IQ}_k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{6 \cdot N^A} \cdot \det(\tilde{\boldsymbol{\sigma}}_k^{ij2})}} \exp \left[-\frac{\left(\overline{IQ}_k - \mathbf{h}_k \tilde{\mathbf{A}}_k^{ij} \right) \cdot \left(\tilde{\boldsymbol{\sigma}}_k^{ij2} \right)^{-1} \cdot \left(\overline{IQ}_k - \mathbf{h}_k \tilde{\mathbf{A}}_k^{ij} \right)^T}{2} \right], \quad (7)$$

где ковариации $\left(\tilde{\boldsymbol{\sigma}}_k^{ij} \right)^2 = \boldsymbol{\sigma}_k^2 + \mathbf{h}_k^T \tilde{\mathbf{R}}_k^{ij} \mathbf{h}_k$.

Далее проводится синтез смешивающего уровня ММ-ПГ модели для систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, для цепи Маркова первого порядка. В этом случае при приёме k -го кодового символа история $(k-1)$ -й компоненты является истекшей.

Для этого первоначально вычисляются априорные вероятности элементарных компонент:

$$q_k^{ij} = \frac{q_{k-1}^i \Pi^{ij} W_k^{ij}(\overline{IQ}_k)}{\sum_{i'=1}^{N_{hyp}} \sum_{j'=1}^{N_{hyp}} q_{k-1}^{i'} \Pi^{i'j'} W_k^{i'j'}(\overline{IQ}_k)}, \quad (8)$$

где Π^{ij} - элементы переходной матрицы $\mathbf{\Pi}$ определяются как:

$$\Pi^{ij} = \begin{cases} \alpha, & i = j \\ \frac{1 - \alpha}{N_{hyp} - 1}, & \forall i, j = 1, i \neq j \\ \frac{\chi}{N_{hypH}}, & i, j - \text{несмежные}, i \neq j, j \neq 1 \\ \frac{1 - \alpha - \chi}{N_{hypC}}, & i, j - \text{смежные}, i \neq j, j \neq 1 \end{cases} \quad (9)$$

где α – вероятность реализации для k -го момента времени той же гипотезы, что и для $(k-1)$, χ – сумма вероятностей реализации несмежных гипотез, N_{hypH} – количество несмежных гипотез, N_{hypC} – количество смежных гипотез.

Далее проводится определение параметров аппроксимирующей смеси с учетом истекшей истории:

$$\begin{aligned}\vec{q}_k &= \left(\sum_{i=1}^{N_{hyp}} q_k^{i1} \dots \sum_{i=1}^{N_{hyp}} q_k^{iN_{hyp}} \right) = (q_k^1 \dots q_k^{N_{hyp}}), \\ \vec{A}_k &= \sum_{j=1}^{N_{hyp}} \frac{q_k^{ji}}{q_k^j} \vec{A}_k^{ji}, \\ \mathbf{R}_k^i &= -\vec{A}_k^i \vec{A}_k^{iT} + \sum_{j=1}^{N_{hyp}} \frac{q_k^{ji}}{q_k^j} \left(\hat{\mathbf{R}}_k^{ji} + \vec{A}_k^{ji} \vec{A}_k^{jiT} \right)\end{aligned}\quad (10)$$

и вычисляется итоговая оценка и её ковариация:

$$\begin{aligned}\vec{A}_k &= \sum_{i=1}^{N_{hyp}} q_k^i \vec{A}_k^i, \\ \mathbf{R}_k &= -\vec{A}_k \vec{A}_k^T + \sum_{i=1}^{N_{hyp}} q_k^i \left(\mathbf{R}_k^i + \vec{A}_k^i \vec{A}_k^{iT} \right).\end{aligned}\quad (11)$$

На базе оценки (11), полученной с помощью ММ-ПГ модели, определяется величина $\Delta_k^{n^A}$ первоначальной подстройки r^{n^A} путём вычисления коэффициента корреляции между значениями \vec{A}_k для n^A -го объекта $(\hat{I}_{kP}^{n^A}, \hat{Q}_{kP}^{n^A}, \dots, \hat{Q}_{kL}^{n^A})$ и вектором отсчётов опорной корреляционной функции $\vec{B}(r)$:

$$\Delta_k^{n^A} = \arg \max_{r=r^{n^A}n - r_E, r^{n^A}n + r_L} \left[\left(\hat{I}_{kP}^{n^A}, \hat{Q}_{kP}^{n^A}, \hat{I}_{kE}^{n^A}, \hat{Q}_{kE}^{n^A}, \hat{I}_{kL}^{n^A}, \hat{Q}_{kL}^{n^A} \right) \cdot \vec{B}(r) \right], \quad (12)$$

а также оценивается фаза сигнала от n^A -го объекта $\varphi_k^{n^A}$, необходимая для сопоставления фаз информационных сигналов при приёме:

$$\varphi_k^{n^A} = \arctan \left(\frac{\hat{Q}_{kP}^{n^A}}{\hat{I}_{kP}^{n^A}} \right). \quad (13)$$

Полученные с помощью ММ-ПГ модели оценки параметров сигналов, а также принятая по каналу синхронизации информация, используются в методе оценки навигационных параметров.

В начальный момент времени на базе информации, полученной по каналу синхронизации, определяется разность часов системы и часов объекта $\Delta\tau$, координаты объектов P^{n^A} , что позволяет определить координаты объекта псевдодальномерным методом.

Однако при применении слеящего алгоритма использование этого метода оценки координат в условиях замираний сигнала приводит к росту ошибок оценок координат, а в ряде случаев даже срыву слежения. В связи с этим далее для оценки координат объекта используется радиально-скоростной метод.

Для этого по изменению фаз сигналов оцениваются скорости сближения $\varpi_k^{n^A}$ с n^A -м объектом, которая определяется путём численного дифференцирования фазы сигнала методом конечных разностей с временным шагом L_ϕ кодовых символов по выражению:

$$\varpi_k^{n^A} = \frac{S_1 \cdot (\varphi_k^{n^A} - \varphi_{k-L\Phi}^{n^A})}{\Phi^2 \cdot L_\Phi}, \quad (14)$$

где S_1 – расстояние, эквивалентное смещению на 1 отсчёт, Φ – величина разности фаз, эквивалентная смещению на 1 отсчёт.

Решение навигационной задачи осуществляется с использованием расширенного ФК на основе полученных скоростей сближения $\varpi_k^{n^A}$ и координат объектов P^{n^A} .

В рамках концепции информационного поля, полученные оценки координат (x_k, y_k) и скоростей (v_{kx}, v_{ky}) , позволяют повысить эффективность оценивания параметров сигналов.

Так, изменение дальности $\Delta \widehat{D}_k^{n^A}$, определяемое по оценкам координат (x_k, y_k) , на расстояние S_1 , эквивалентное смещению на 1 отсчёт используется для отслеживания смещения $\theta_k^{n^A}$ задержки r^{n^A} согласно выражению:

$$\theta_k^{n^A} = \begin{cases} 1, \Delta \widehat{D}_k^{n^A} \geq S_1 \\ 0, |\Delta \widehat{D}_k^{n^A}| < S_1 \\ -1, \Delta \widehat{D}_k^{n^A} \leq -S_1 \end{cases}. \quad (15)$$

А совместный учет полученных оценок координат и скоростей позволяет провести коррекцию матриц предсказания \mathbf{B}_k^j :

$$\begin{aligned} B_{kl}^{jn^A} &= \cos\left(-\frac{2\pi}{N_S \cdot N_k^{jn^A}}\right), \\ B_{kQ}^{jn^A} &= \sin\left(-\frac{2\pi}{N_S \cdot N_k^{jn^A}}\right), \end{aligned} \quad (16)$$

где $N_k^{jn^A}$ – количество кодовых символов, за которые происходит сдвиг на 1 отсчёт сигнала при движении объекта, которое определяется как:

$$\begin{aligned} N_k^{jn^A} &= N_k^{jn^A} \cdot \left(1 - \frac{q_k^j}{L}\right) + \\ &+ \frac{q_k^j}{L} \cdot \left[S_1 \cdot T^{-1} \cdot \left(-\frac{(x^{n^A} - x_k) \cdot v_k \cdot \cos(\tilde{\varphi}^j) + (y^{n^A} - y_k) \cdot v_k \cdot \sin(\tilde{\varphi}^j)}{\sqrt{(x^{n^A} - x_k)^2 + (y^{n^A} - y_k)^2}} \right)^{-1} \right], \end{aligned} \quad (17)$$

где $v_k = \sqrt{(v_{kx})^2 + (v_{ky})^2}$, $\tilde{\varphi}^j$ – азимут j -го предсказания, L – количество кодовых символов, на длине которых производится усреднение.

В процессе работы дисперсия шума σ_k^2 и ковариационные матрицы формирующего шума компонент \mathbf{D}_k^i оцениваются методом адаптации:

$$\sigma_k^2 = \sigma_k^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{L}\right) + \frac{1}{N_{IQ} N^A L} \sum_{i=1}^{N_{hyp}} \sum_{j=1}^{N_{hyp}} q_k^{ij} \cdot \left(\overline{IQ}_k - \mathbf{h}_k \hat{A}_k^{ij}\right) \cdot \left(\overline{IQ}_k - \mathbf{h}_k \hat{A}_k^{ij}\right)^T, \quad (18)$$

$$\mathbf{D}_k^i = \mathbf{D}_k^i \left(1 - \frac{q_k^i}{L}\right) + \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{N_{hyp}} q_k^{ij} \hat{A}_k^{ij} \hat{A}_k^{ijT},$$

где L – количество кодовых символов, на длине которых производится адаптация, N_{IQ} – количество квадратурных сигналов, формируемых корреляционным приёмником n^A -го объекта

Для осуществления совместного приёма сигналов и позиционирования подвижного объекта в ИП был разработан алгоритм, выполняющий следующую последовательность действий:

1. Определение первоначальных задержек пилот-сигналов.
2. Векторная фильтрация квадратур сигналов.
3. Оценка априорных вероятностей элементарных компонент.
4. Аппроксимация параметров элементарных компонент с истекшей историей.
5. Оценка фаз сигналов.
6. Приём и декодирование информационных сигналов с извлечением координат активных объектов P^{n^A} и системного времени.
7. Определение координат объекта псевдодальномерным методом в начальный момент времени, а для остальных моментов времени – определение скоростей сближения с активными объектами.
8. Определение местоположения объекта и проекций скоростей движения.
9. Оценка временного сдвига по величинам приращения дальностей, полученных по оценкам координат.
10. Коррекция матриц предсказания \mathbf{V}_k^i .
11. Адаптация параметров аппроксимированных компонент.

Разработанный алгоритм после выполнения п.1 в начальный момент времени последовательно исполняет пункты 2 - 11 на интервале приёма каждого кодового символа.

В третьей главе «Исследование эффективности алгоритма совместного приёма сигналов и позиционирования объектов для систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле» для исследования на кафедре Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем КНИТУ-КАИ была выбрана лаборатория 509 имени В.Р. Линдваля площадью 22,94 м². С использованием разработанного стенда (Рисунок 2) шестью активными фиксированными объектами в ультразвуковом диапазоне волн в лаборатории формировалось ИП.

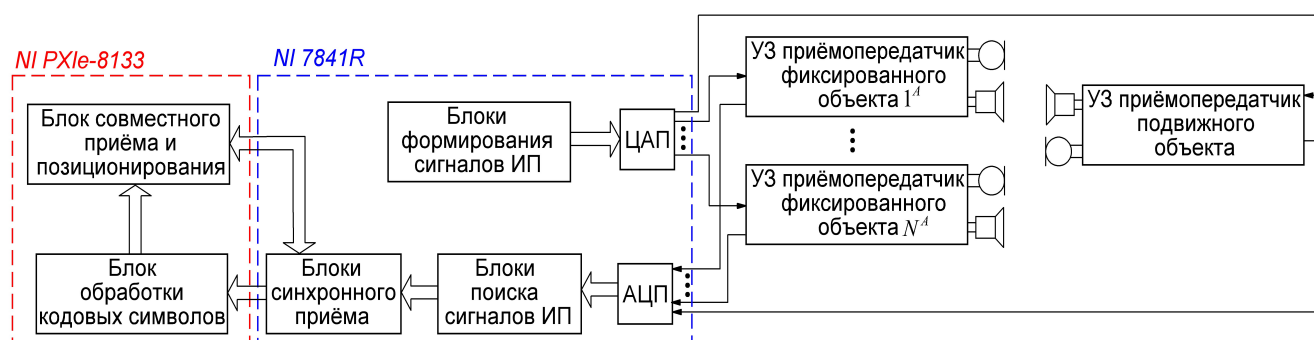


Рисунок 2 – Структурная схема стенда для исследования сигналов ИП в ультразвуковом диапазоне волн.

Проведён выбор ультразвуковых излучателей и датчиков, разработаны ультразвуковые приёмопередатчики для подвижного и фиксированных объектов, разработана установка, приводящая в движение подвижный объект, выбраны параметры сигналов, формирующих ИП, проведена экспериментальная проверка работоспособности стенда.

По результатам проверки установлено, что для описания динамики движения объекта достаточно использовать гауссово-марковские последовательности и цепи Маркова первого порядка.

Для оценки эффективности синтезированного алгоритма совместного приёма сигналов и позиционирования объектов на базе ММ-ПГ модели проведено компьютерное моделирование стенда для этого алгоритма и алгоритма, реализующего фильтр Винера.

На рисунке 3 приведено усредненное по 100 опытам соотношение усредненных отношений правдоподобия оценок параметров сигналов $\beta = \left(\frac{\bar{L}_{\text{ММ-ПГ}}}{\bar{L}_{\text{Винер}}} \right)$,

полученных при использовании разработанного алгоритма и алгоритма, реализующего фильтр Винера, при различных значениях отношениях сигнал-шум (ОСШ).

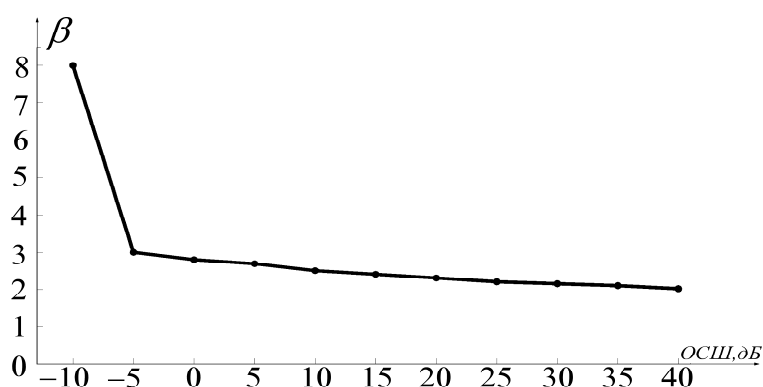


Рисунок 3 – Зависимость величины β от ОСШ по результатам 100 опытов

На рисунке 4 приведены зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) оценок координат от ОСШ по результатам 100 опытов для разработанного алгоритма и алгоритма, реализующего фильтр Винера.

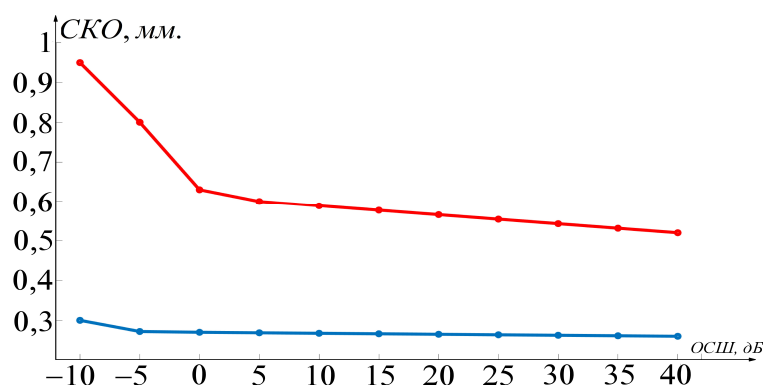


Рисунок 4 – Зависимость СКО оценок координат от ОСШ для:

Синим – разработанный алгоритм, красным – алгоритм, реализующий фильтр Винера.

Из рисунков 3 и 4 видно, что применение разработанного алгоритма, по сравнению с алгоритмом, реализующим фильтр Винера, позволило:

1. более чем в 2 раза повысить отношение правдоподобия оценок параметров сигналов;

2. снизить СКО оценок координат подвижного объекта более чем в два раза.

При проведении экспериментальных исследований с помощью разработанной установки первоначально объект был неподвижен и располагался в точке \dot{P} . Далее объект равномерно двигался в точку \ddot{P} со скоростью 0,5 мм/с проезжая 830,6 мм., после чего останавливался на определённый отрезок времени. Далее объект равномерно двигался в обратную сторону с такой же скоростью проезжая 710,3 мм. и останавливался в точке \ddot{P} . План эксперимента показан на рисунке 5.

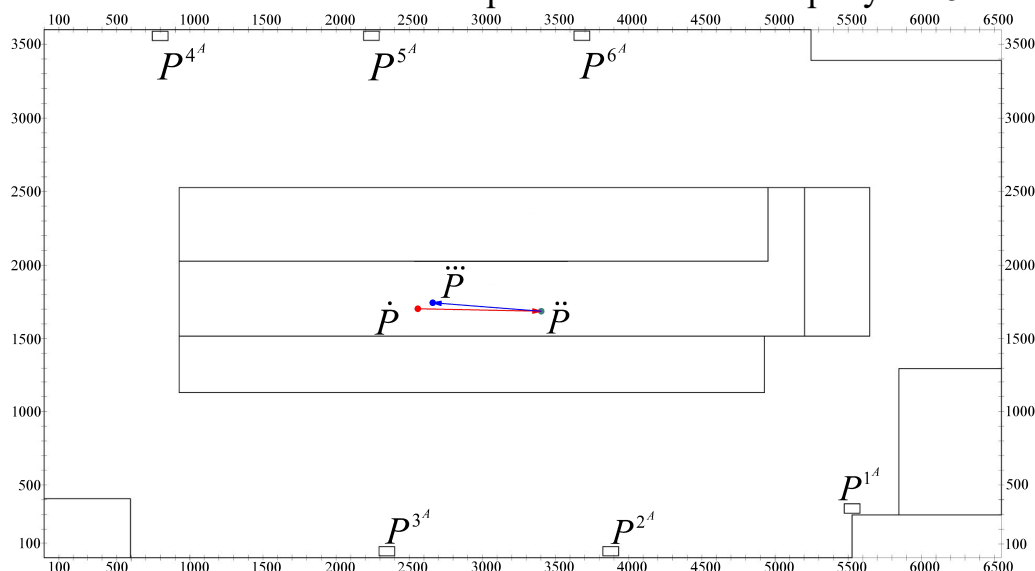


Рисунок 5 – План размещения фиксированных активных объектов и перемещений подвижного объекта

В ходе проведения эксперимента были получены ОСШ = 0,1 дБ, среднее значение величины $\beta = 4,37$, среднее значение СКО оценок координат в случае применения разработанного алгоритма составило $1,270 \pm 0,036$ мм. (95% ДИ), а для алгоритма, реализующего фильтр Винера – $12,920 \pm 0,097$ мм. (95% ДИ).

На рисунке 6 представлены оценки траектории движения объекта в случаях применения разработанного алгоритма и алгоритма, реализующего фильтра Винера.

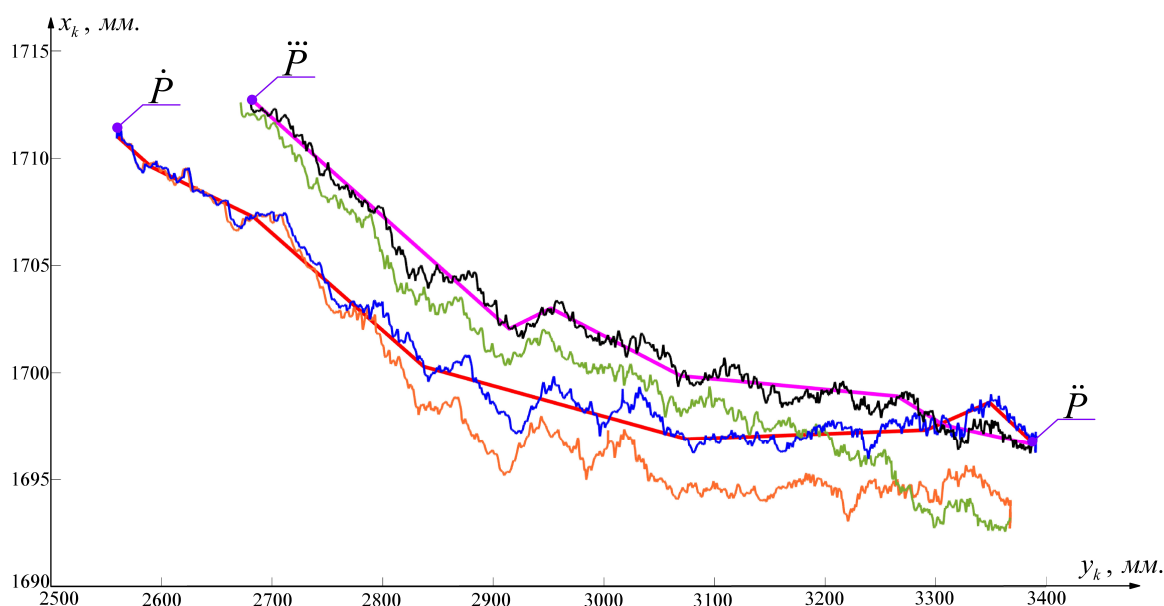


Рисунок 6 – Реальные и оцененные траектории движения объекта.

Из точки \dot{P} в точку \ddot{P} : красный – реальная, синий – разработанный алгоритм, рыжий – алгоритм, реализующий фильтр Виннера.

Из точки \ddot{P} в \ddot{P} точку: розовый – реальная, черный – разработанный алгоритм, зеленый – алгоритм, реализующий фильтр Виннера.

Из рисунка 6 следует, что использование разработанного алгоритма позволяет существенно снизить отклонения оценок координат.

На рисунке 7 показана эффективность коррекции величины задержки пилот-сигнала по оценкам координат, по сравнению с коррекцией по оценкам изменения фазы сигнала.

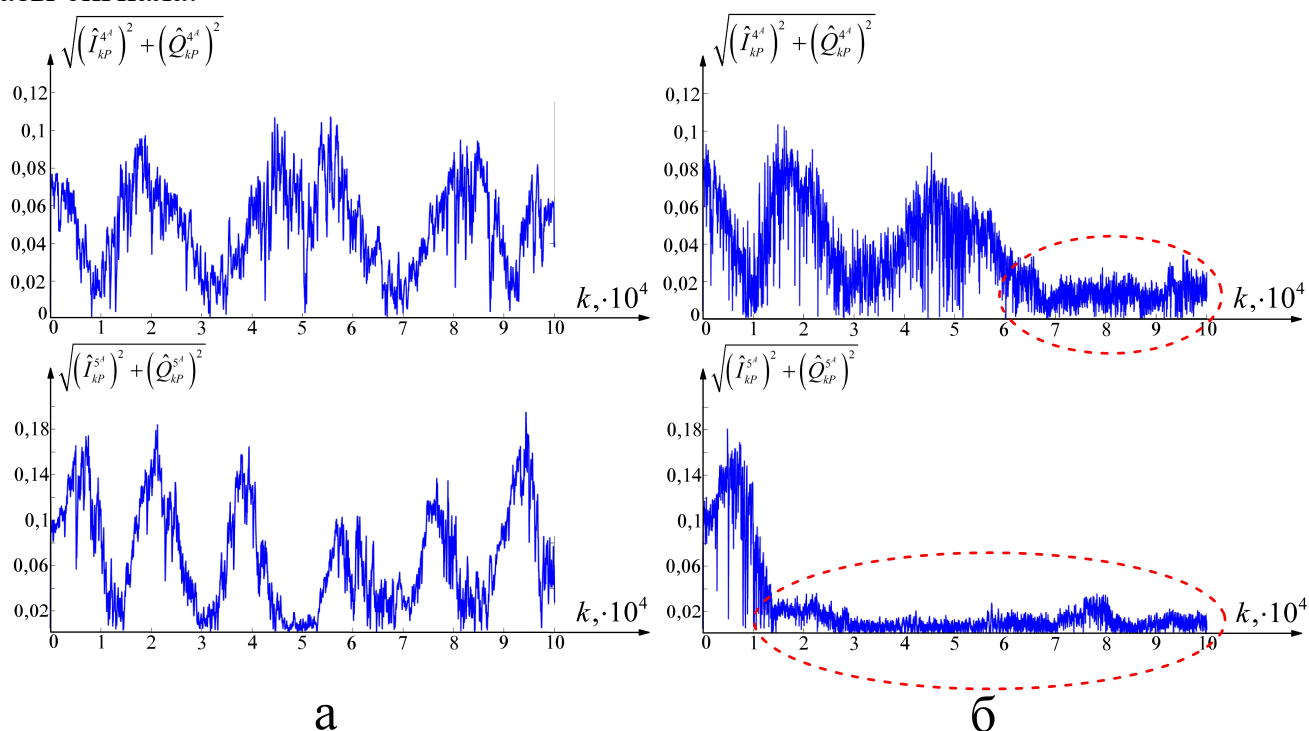


Рисунок 7 – Оценка амплитуды сигнала для объектов 4^A (сверху) и 5^A (снизу) в случае быстрых замираний в канале:

а) коррекция задержки пилот-сигнала по оценкам координат, б) коррекция задержки пилот-сигнала по оценкам изменения фазы сигнала

На рисунке 7 рассмотрены оценки амплитуд двух передатчиков, полученных по экспериментальной реализации, в случае которой возникает множество быстрых замираний. Как видно из рисунка 7б, при коррекции задержки пилот-сигнала по оценкам изменения фазы в случае мгновенного резкого снижения амплитуды сигнала для объекта 4^А заметно значительное увеличение шума оценки, а при значительном снижении амплитуды сигнала объекта 5^А – происходит срыв слежения за сигналом (выделено красным пунктиром). Коррекция задержки пилот-сигнала по оценкам координат (рисунок 7а) этими недостатками не обладает.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования и эксперимента не противоречат друг другу. Полученные результаты эксперимента позволяют сделать выводы, что для подвижного объекта применение принципов концепции информационного поля с использованием ММ-ПГ модели позволило:

1. более чем в 3 раза повысить отношение правдоподобия оценок параметров сигналов;
2. снизить СКО оценок координат более чем в 10 раз;
3. бороться с быстрыми замираниями за счёт коррекции задержки пилот-сигнала по оценкам координат.

Повышение выигрыша разработанного алгоритма в условиях эксперимента связано с резким увеличением отклонения оценок алгоритма, использующего фильтр Винера, ввиду воздействия дестабилизирующих факторов.

В заключении приводятся основные научные и практические результаты диссертационных исследований.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе решена научно-техническая задача расширения функциональных возможностей систем связи с подвижными объектами за счёт разработки методов и реализующего их алгоритма совместного приёма сигналов и позиционирования объектов только по сигналам этих систем на основе принципов информационного поля. В частности:

1. Модифицирована модель сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, обеспечивающая адекватную оценку расстояния между объектами.

2. Разработан стенд для анализа сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, и соответствующее программное обеспечение к нему, защищенное свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025664138 опубл. 03.06.2025.

3. Разработан метод оценки параметров сигналов систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, учитывающий динамику движения объектов с использованием ММ-ПГ модели и обеспечивающий повышение отношения правдоподобия получаемых оценок.

4. Разработан метод оценки навигационных параметров по сигналам систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, отличающийся учетом гипотез о направлении движения объекта и обеспечивающий снижение среднеквадратического отклонения получаемых оценок.

5. На основе принципов информационного поля разработан алгоритм совместного приёма сигналов и позиционирования объектов для систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле, и соответствующее программное обеспечение, защищенное свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025665772 опубл. 19.06.2025. Разработанный алгоритм в случае компьютерного моделирования позволил более чем в 2 раза повысить отношение правдоподобия оценок параметров сигналов и более чем в 2 раза снизить среднеквадратическое отклонение оценок координат для подвижного объекта. В результате эксперимента разработанный алгоритм позволил более чем в 3 раза повысить отношение правдоподобия оценок параметров сигналов и более чем в 10 раз снизить среднеквадратическое отклонение оценок координат для подвижного объекта, а также продемонстрировал возможность борьбы с быстрыми замираниями в связи с резким увеличением отклонения оценок алгоритма, использующего фильтр Винера, ввиду воздействия дестабилизирующих факторов.

Перспективы дальнейшей разработки темы. В дальнейшей работе предполагается для разработанного алгоритма совместного приёма сигналов и позиционирования объектов по сигналам систем связи с подвижными объектами, работающими в информационном поле, рассмотреть ограничения на количество активных объектов необходимых для его применения, возможность его использования для позиционирования объектов в пространстве, а также модифицировать его для применения в различных технологиях широкополосной передачи данных (OFDM, OFDMA, FHSS, LoRa и другие).

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Кузнецов, А. С. Применение информационного поля для навигации объектов / А. С. Кузнецов, С. В. Козлов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2021. – № 3(51). – С. 31-40. – DOI 10.25686/2306-2819.2021.3.31.

2. Кузнецов, А. С. Тестирование применения информационного поля для навигации объектов / А. С. Кузнецов, С. В. Козлов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 4-10. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-4-4-10.

3. Кузнецов, А. С. Разработка пассивного метода и алгоритма локации объектов в информационном поле / Э. И. Закиров, А. С. Кузнецов, С. В. Козлов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия:

Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2024. – № 3(63). – С. 15-24. – DOI 10.25686/2306-2819.2024.3.15.

4. Кузнецов, А. С. Расширение функционала систем связи с подвижными объектами, работающих в информационном поле / А. С. Кузнецов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2025. – № 1(65). – С. 34-45. – DOI 10.25686/2306-2819.2025.1.34.

Статья в научном журнале, индексируемом в РИНЦ

5. 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.

Публикации, индексируемые в международной базе Scopus

6. Kuznetsov, A. S. Development of a Method for Determining the Signals Arrival Times of Systems Operating in the Information Field / S. V. Kozlov, A. S. Kuznetsov // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2024. – Vol. 7, No. 1. – P. 210-213. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617874.

В других изданиях

7. Кузнецов, А. С. Разработка тестовой системы связи, работающей в информационном поле / А. С. Кузнецов, С. В. Козлов // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях: Материалы XX Международной научно-технической конференции, XVI Международной научно-технической конференции. В 2-х томах, Уфа, 20–22 ноября 2018 года. Том 1. – Уфа: ГОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет", 2018. – С. 71-72.

8. Кузнецов, А. С. Разработка приемопередающей части системы связи, работающей в информационном поле / А. С. Кузнецов // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. В 6-ти томах, Казань, 07–08 ноября 2019 года. Том V. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2019. – С. 375-379.

9. Кузнецов, А. С. Разработка тестовой многоканальной системы связи, работающей в информационном поле / А. С. Кузнецов, С. В. Козлов // III Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2019: Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Казань, 18–22 ноября 2019 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2019. – С. 143-144.

10. Кузнецов, А. С. Разработка программного обеспечения тестовой многоканальной системы передачи информации, работающей в информационном поле / А. С. Кузнецов, С. В. Козлов // 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. 43-44.

11. Кузнецов, А. С. Разработка тестовой локационной системы, работающей в информационном поле / А. С. Кузнецов // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции, посвященной 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том VI. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. – С. 176-182.

12. Кузнецов, А. С. Разработка алгоритмов тестовой навигационной системы, работающей в информационном поле для подвижных и фиксированных абонентов / А. С. Кузнецов // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции, посвященной 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том VI. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. – С. 171-176.

13. Кузнецов, А. С. Тестирование системы пассивной локации, работающей в информационном поле / А. С. Кузнецов, С. В. Козлов, Р. А. Юсупов // 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. Том I. – Уфа: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "уфимский университет науки и технологий", 2023. – С. 149-151.

14. Кузнецов, А. С. Разработка алгоритма пассивной локации объектов по сигналам информационного поля / Э. И. Закиров, А. С. Кузнецов // 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. 74-75.

15. Кузнецов, А. С. Разработка методов и алгоритмов совместного приёма сигналов информационного поля / А. С. Кузнецов // 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 радиопотоники 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. 56-61.

Регистрация интеллектуальной деятельности

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025664138 Российская Федерация. Программа формирования, передачи и приёма сигналов информационного поля: заявл. 22.05.2025: опубл. 03.06.2025 / С. В. Козлов, А. С. Кузнецов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025665772 Российская Федерация. Программа совместного приёма и позиционирования по сигналам систем, работающих в информационном поле: заявл. 22.05.2025: опубл. 19.06.2025 / С. В. Козлов, А. С. Кузнецов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Диссертант



А.С. Кузнецов