

На правах рукописи



Бердников Вадим Михайлович

**ПРОЦЕДУРЫ И АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА СИГНАЛОВ И СТРУКТУР
СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Специальность:

05.12.04 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

и

05.12.14 - «Радиолокация и радионавигация»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (РГРТУ) на кафедре радиоправления и связи

- Научный руководитель - заслуженный работник ВШ РФ,
доктор технических наук, профессор
Кириллов Сергей Николаевич
- Официальные оппоненты - доктор технических наук Кошелев Виталий
Иванович, заведующий кафедрой
радиотехнических систем РГРТУ (г. Рязань)
- кандидат технических наук Давыдовкин Вячеслав
Михайлович, начальник сектора СКБ
ООО предприятие «Контакт-1» (г. Рязань)
- Ведущая организация - ЗАО «Конструкторское бюро навигационных
систем» (КБ НАВИС)

Защита состоится «28» ноября 2013 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.04 Рязанского государственного радиотехнического университета по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГРТУ.

Автореферат разослан «25» октября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.211.04

Д.т.н., проф.



Овечкин Г.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время значительно возрос интерес к построению различного рода сетей позиционирования объектов. Особое развитие получили такие спутниковые радионавигационные системы (СРНС), как Глонасс, GPS, Galileo, Compass, QZSS, IRNSS. Кроме того, на данный момент активно развиваются и находят применение акустические системы локализации дикторов и других источников звука на основе микрофонных решеток (МР).

В ряде ситуаций, в частности при действии различного вида помех, СРНС не обеспечивают заданную точность позиционирования, кроме этого, затруднена возможность навигации внутри помещений. При «затенении» сигналов от спутников СРНС зданиями и т.п. объектами, даже на открытой местности в условиях крупных городов или горного рельефа, точность определения местоположения, частота выдачи координат и целостность навигационного поля могут быть значительно снижены вплоть до полного отказа системы. Поэтому для повышения надежности навигационных определений в ряде ситуаций целесообразно применение локальных наземных радионавигационных систем (НРНС) как полностью автономно, так и в виде дополнений к СРНС.

С точки зрения акустических систем на основе МР уверенное и точное определение местоположения дикторов или других источников звуков возможно только на близких расстояниях в пределах помещения. Следовательно, представляет интерес анализ применения распределенной сети микрофонов, позволяющей локализовывать источники звука на обширной территории без ограничений свойственных МР.

Большой вклад в развитие теории и практики построения эффективных радионавигационных систем (РНС) внесли следующие ученые Шебшаевич В.С., Перов А.И., Харисов В.Н., Сосновский А.А., Соловьев Ю.А., Ярлыков М.С., Каплан Е.Д., Хегарти К.Дж., Кобб Х.С. и др.; а в развитие теории и практики построения эффективных аудиосистем локализации источников звука (АЛЗ) Бранштейн М., Уорд Д., Ли Дж., Растимаки М., Теллакула А.К., Рабинер Л.Р., Шафер Р.В., Аграновский А.В., Леднов Д.А. и др.

Применение НРНС позволяет более гибко подходить к задачам выбора используемых навигационных сигналов как для позиционирования объектов, так и с точки зрения снижения вероятности классификации вида модуляции в сложной помеховой обстановке по сравнению с СРНС. На данный момент разработка новых видов навигационных сигналов происходит благодаря развитию СРНС. С точки зрения разработки НРНС, данные виды модуляции обладают следующими недостатками: высоким уровнем боковых лепестков (УБЛ) автокорреляционной функции (АКФ) (половина и более уровня главного лепестка), а также отсутствие какой-либо процедуры синтеза внутрисимвольной кодовой последовательности (ВКП) по конкретным показателям качества (ПК) для специфической ситуации применения НРНС. Таким образом, разработка алгоритма многокритериального синтеза ВКП обеспечит без ухудшения корреляционных характеристик ансамбля кодовых последовательностей (КП) наилучшую потенциальную точность НРНС в каждом конкретном случае, а высокое быстродействие разрабатываемого алгоритма позволит адаптировать НРНС к текущей помеховой обстановке, в частности снизить негативное влияние узкополосных помех (УП).

Также для РНС в качестве ансамблей КП для асинхронных систем с кодовым разделением абонентов, как правило, используют семейства КП Голда, Вейла, Кассами, Бенга и др. Данные ансамбли КП обладают достаточно хорошими корреляцион-

ными характеристиками: низким уровнем взаимнокорреляционной функции (ВКФ) и УБЛ АКФ. Получение ансамблей таких КП представлено в основном аналитическими методами, кроме того в ряде работ, в частности посвященных СРНС Galileo, применяются методы численного синтеза ансамбля КП по ПК, связанными с корреляционными характеристиками навигационных сигналов. Как правило, в данных работах не учитываются другие ПК, а именно нулевая зона (НЗ) АКФ и минимальная зона (МЗ) ВКФ. В известных публикациях ансамбли КП с данными ПК, получают в основном аналитическими методами при значительных затратах времени, не используя при этом ограничения на время достижения НЗ АКФ или МЗ ВКФ. Данные свойства позволяют в некоторых случаях существенно снизить негативное влияние многолучевого, взаимных и ретранслированных помех, а также эффекта «ближний-дальний».

Кроме этого, представляют интерес задачи классификации вида модуляции навигационных сигналов, а также синтеза ВКП навигационных сигналов для НРНС с целью противодействия определению класса сигнала системой радиомониторинга. Решение данных задач повысит эффективность действия НРНС в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки.

В то же время использование НРНС также позволит более гибко подходить к задачам выбора топологии сети опорных станций (ОС) для позиционирования объектов по сравнению с СРНС. При размещении ОС (в частности псевдоспутников) на местности, обычно, рассматривают топологии сети типа прямоугольник, круг и т.п. приближенные к геометрическим абстракциям, что в реальности не всегда целесообразно. Следовательно, актуальным является разработка процедур многокритериальной оптимизации топологии сети ОС для НРНС, позволяющих соответствующим образом разместить ОС с точки зрения обеспечения наилучших значений ПК на открытой местности, внутри помещений и за пределами помещений для навигации внутри зданий.

Помимо этого, в настоящее время возрастает роль использования аудиоинформации для определения местоположения источников звука, к которым относятся разного рода резкие звуки (РЗ) (соударения, взрывы, выстрелы, щелчки, гул и т.п.), а также речь. Так РЗ характеризуются большой амплитудой сигнала и короткой длительностью. Как правило, обработка данных сигналов проводится во временной области, но в известных работах не представлены конкретные алгоритмы определения взаимных задержек сигналов РЗ в разных микрофонах (каналах) или это описание носит поверхностный характер. Таким образом, актуальна разработка практического алгоритма определения разности времени возникновения сигналов РЗ между wybranymi парами каналов для распределенной сети микрофонов.

Кроме этого, применение распределенной сети микрофонов для определения разности времени возникновения речевого сигнала (РС) между выбранными парами каналов исключает прямое использование корреляционного метода (как это делается для МР) в связи с наличием высокого УБЛ АКФ речевого сигнала, приводящего к неоднозначности решения, что обусловлено большими расстояниями между микрофонами. Следовательно, является актуальным разработка устойчивого алгоритма определения разности времени возникновения РС на основе обработки «взрывных» компонентов (ВК) РС во временной области с целью устранения неоднозначности АКФ и далее уточнение решения корреляционным методом.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований целесообразно проведение анализа практической организации НРНС и АЛЗ. В настоящее время данные системы являются в определенной степени новыми и малоизученными,

поэтому следует опираться в случае НРНС на опыт разработки СРНС ГЛОНАСС, GPS, псевдоспутников и локальной системы LocataNet, а в случае АЛЗ на опыт разработки и реализации распределенных сетей датчиков и МР.

Цель и задачи работы. Основной целью данной работы является разработка эффективных навигационных сигналов, быстрых процедур оптимизации топологии сети ОС и устойчивых алгоритмов локализации источников звуков для обеспечения высокой точности позиционирования объектов при воздействии различных мешающих факторов.

Поставленная цель работы достигается решением следующих задач:

1 Разработать алгоритмы многокритериального синтеза ВКП ансамбля КП для повышения потенциальной точности позиционирования и уменьшения негативного влияния УП.

2 Разработать алгоритмы многокритериального синтеза ансамбля КП с нулевой зоной АКФ и минимальной зоной ВКФ с целью снижения негативного влияния многолучевого распространения радиоволн, взаимных помех и эффекта «ближний-дальний».

3 Разработать процедуру классификации известных и перспективных навигационных сигналов на основе автокорреляционного классификатора для определения вида модуляции РНС.

4 Разработать алгоритм многокритериального синтеза навигационных сигналов для НРНС с наименьшей вероятностью классификации вида модуляции и снижением негативного воздействия УП.

5 Разработать процедуры многокритериальной оптимизации топологии сети ОС для НРНС на открытой местности, внутри помещений и за пределами помещений для уменьшения геометрического фактора сети, количества необходимых ОС и динамического диапазона радиолинии.

6 Разработать алгоритм определения разности времени возникновения сигналов РЗ для распределенной сети микрофонов в условиях действия аддитивного белого гауссова шума (АБГШ) в пределах полосы сигнала.

7 Разработать устойчивый алгоритм определения разности времени возникновения РС для распределенной сети микрофонов в условиях действия АБГШ в пределах полосы сигнала.

8 Обосновать наиболее эффективный метод решения разностно-дальномерной задачи для локализации источников звука при различной конфигурации расположения микрофонов.

9 Разработать концепцию реализации НРНС с учетом текущих методов построения РНС на основе современной элементной базы.

10 Реализовать на практике генератор дифференциального сигнала КП в интересах организации передатчика НРНС.

11 Разработать программное обеспечение для определения местоположения источников звуков для распределенной сети микрофонов на основе многоканального аудиointерфейса.

Методы проведения исследований. В работе использовались методы статистической радиотехники, математической статистики, матричного исчисления, численные методы вычислительной математики. Данные теоретические методы сочетались с экспериментальными исследованиями.

Научная новизна. В рамках данной диссертационной работы получены следующие новые научные результаты:

1 Показана возможность повышения потенциальной точности позиционирования объектов с помощью быстрого синтеза ВКП ансамбля КП в заданной полосе частот. В частности, для полосы частот 6 и 14 МГц были синтезированы навигационные сигналы, у которых, по сравнению с известными и перспективными, при одинаковой нижней границе среднеквадратической ошибки (СКО) оценки псевдодальности в АБГШ получен выигрыш в отношении сигнал-шум (ОСШ) минимум 3...10 дБГц и 5...20 дБГц соответственно.

2 Доказана целесообразность синтеза ВКП ансамбля для уменьшения негативного влияния УП, действующей около несущей частоты навигационных сигналов. В частности, показана возможность подавления УП до 7 дБ для полосы 2 МГц и 10 дБ для полосы 4 МГц по сравнению с BPSK(1) сигналом и ансамблем Голда.

3 Предложен алгоритм быстрого синтеза ансамбля КП с НЗ АКФ. Показано в частности, что с целью обеспечения НЗ АКФ шириной 4-е элемента КП для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов достигнуты корреляционные характеристики близкие к ансамблям Вейла и Голда. При этом полученная НЗ АКФ достигается за несколько секунд синтеза, что позволяет полностью нейтрализовать негативное влияние многолучевого распространения радиоволн в дальней зоне и ретранслированных помех в заданной области задержек.

4 Продемонстрирована эффективность быстрого синтеза ансамбля КП с МЗ ВКФ для минимизации взаимных помех и эффекта «ближний-дальний». Так в частности, для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов получена максимальная величина ВКФ в области задержки шириной 4-е элемента КП среди всех пар КП ансамбля, которая имеет значение в 4,12 и 4,62 раза меньше, чем у ансамблей Голда и Вейла соответственно, при этом максимальное значение АКФ находится на сравнимом уровне.

5 Продемонстрирована эффективность алгоритма многокритериального синтеза навигационных сигналов для НРНС с наименьшей вероятностью классификации вида модуляции. Данный алгоритм позволяет быстро (с помощью смены ВКП КП) синтезировать сигналы похожие по АКФ на выбранные из множества известных и перспективных навигационных сигналов и при этом обеспечить провал в спектральной плотности мощности (СПМ) в области действия УП. Так, на примере семейства ВОС-сигналов было получено среднее ослабление влияния УП в случае ее воздействия на синтезированные сигналы порядка 4,5 дБ для полосы 4 МГц (полоса УП 200 кГц) при перепутывании с BPSK(1) и ВОС(1;1) сигналами и порядка 3,2 дБ для полосы 8 МГц (полоса УП 400 кГц) при перепутывании с ВОС(2;1) и ВОС(2,5;1) сигналами.

6 Разработаны алгоритмы оптимизации топологии сети ОС для НРНС на открытой местности, внутри и за пределами помещений, обеспечивающие минимизацию геометрического фактора сети до порядка 1, необходимого количества ОС и динамического диапазона радиолинии.

7 Показана эффективность алгоритма определения разности времени возникновения сигналов РЗ на основе калибровочного (КА) и безкалибровочного (БКА) алгоритмов обнаружения РЗ и пороговом способе оценки времени задержек РЗ между каналами, что обеспечивает ошибку определения разности времени возникновения сигналов РЗ не более 0,6 мс (20 см по дальности) при ОСШ около 0 дБ и практически нулевую ошибку при ОСШ более 8 дБ.

8 Продемонстрирована эффективность устойчивого алгоритма определения разности времени возникновения ВК РС на основе двухэтапной обработки. Так, вероятность попадания оценок задержек ВК в область главного лепестка АКФ составила 0,7 для ОСШ около 0 дБ, а при 30 дБ и выше более 0,9. В результате достижимая ошибка

оценки задержек ВК РС составляет не более 2 мс (67 см по дальности) при ОСШ до 10 дБ и около 0,2 мс (6 см по дальности) при 30 дБ и выше.

Достоверность. Достоверность полученных в диссертационной работе результатов и выводов обеспечивается качественным и количественным сопоставлением результатов экспериментальных исследований с известными положениями теории синтеза и обработки радио- и акустических сигналов.

Практическая ценность работы. Предложенные в работе процедуры и алгоритмы для систем локального позиционирования могут быть использованы в различных системах спутниковой и наземной радионавигации, акустической локализации объектов, а также в интеллектуальных системах управления, охраны и мониторинга. Реализация результатов исследований позволит улучшить точность позиционирования объектов, а также оптимизировать топологию сети ОС для различной конфигурации местности, что обеспечит улучшение показателей качества систем локального позиционирования.

Результаты диссертационной работы нашли применение в разработках ОАО «Российские космические системы» (ФГУП РНИИ «Космического приборостроения») и в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», что подтверждено соответствующими актами.

Основные положения, выносимые на защиту.

1 Алгоритмы многокритериального синтеза ВКП навигационных сигналов, обеспечивающие выигрыш в ОСШ по сравнению с известными в среднем на 10 дБГц, при корреляционных потерях не более 1 дБ и УБЛ АКФ в среднем на 20 % меньше, а также подавление УП до 10 дБ по сравнению с BPSK(1) сигналом и ансамблем Голда.

2 Алгоритмы многокритериального синтеза ансамбля КП для НРНС, обеспечивающие формирование НЗ АКФ шириной до 4-х элементов КП для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов при корреляционных характеристиках близких к ансамблям Вейла и Голда, а также МЗ ВКФ шириной до 4-х элементов КП среди всех пар КП ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов, которая имеет значение ВКФ в 4,12 и 4,62 раза меньше, чем у ансамблей Голда и Вейла соответственно при одинаковом максимуме значения УБЛ АКФ.

3 Процедуры многокритериальной оптимизации топологии сети ОС на открытой местности, внутри и за пределами помещений для навигации внутри зданий, обеспечивающие значение коэффициентов геометрии порядка 1 при минимуме используемых ОС и динамического диапазона радиолинии.

4 Устойчивый алгоритм определения разности времени возникновения РС для распределенной сети микрофонов, который обеспечивает достижимую ошибку оценки задержек ВК не более 2 мс (67 см по дальности) при отношении сигнал-шум до 10 дБ и около 0,2 мс (6 см по дальности) при 30 дБ и выше.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих конференциях:

1) Материалы 15-ой, 17-ой Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязань: РГРТУ, 2008, 2012 г. г.

2) 33-я научно-практическая конференция «Сети системы связи и телекоммуникации» Рязань: РВВКУС, 2008 г.

3) 13-я, 14-я, 15-я, 16-я, 17-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. Новые информационные технологии в

научных исследованиях и в образовании. Рязань: РГРТУ, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 г. г.

4) Научная сессия МИФИ – 2009 «Инновационные проекты и молодёжное предпринимательство в университете». Москва: МИФИ, 2009 г.

5) 11-я, 15-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение» Москва, 2009, 2013 г. г.

6) 2-я, 3-я, 4-я, 5-я, 6-я Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». Москва: ОАО «Российские космические системы» (ФГУП РНИИ КП), 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 г. г.

7) 18-я Международная конференция по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург: ЦНИИ «Электронприбор», 2011.

8) 6-я Международная научно-техническая конференция посвященная 90-летию со дня рождения академика В.Ф. Уткина «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». Рязань, 1-3 октября 2013.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы; определены цели и задачи, рассматриваемые в диссертационной работе. Перечислены новые научные результаты, полученные в данной работе; представлены её практическая ценность и апробация; сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены вопросы разработки алгоритмов многокритериального синтеза ВКП для навигационных сигналов с целью повышения потенциальной точности позиционирования и устойчивости к УП, а также синтеза ансамбля КП с НЗ АКФ и МЗ ВКФ для снижения негативного влияния многолучевости и взаимных помех. Обоснована процедура классификации навигационных сигналов на основе автокорреляционного классификатора и предложен алгоритм синтеза с наименьшей вероятностью классификации вида модуляции системой радиомониторинга.

При позиционировании объектов с помощью НРНС может возникнуть ситуация, когда требуется повышенная точность определения местоположения. Прямое уменьшение длительности символов ансамбля КП приводит к пропорциональному увеличению полосы занимаемых частот. В то же время, использование ВКП предложенных для СРНС, таких как ВОС, СВОС, ТМВОС, VВОС, характеризуется высоким значениям УБЛ АКФ, что приводит к уменьшению вероятности правильного обнаружения, нарушению устойчивости схемы слежения за сигналом при воздействии помех, ложной синхронизации и, в результате, к ошибке позиционирования объекта.

В результате разработан алгоритм многокритериального синтеза ВКП, который учитывает требования по потенциальной точности позиционирования объектов, значениям УБЛ АКФ сигнала и полосе занимаемых частот.

Предложено использовать следующий функционал минимизации для синтеза ВКП навигационных сигналов:

$$F_0 = \alpha_0 \cdot M \cdot k + (1 - \alpha_0) \cdot \gamma, \quad (1)$$

где M - масштабирующий коэффициент; α_0 - весовой коэффициент ($0 \leq \alpha_0 \leq 1$); γ - максимальный УБЛ АКФ, малая величина которого обеспечивает более высокую вероятность правильного обнаружения для данного ОСШ при заданной вероятности

ложной тревоги; $k=1/(\beta_{RMS}\sqrt{L_{CORR}})$ - коэффициент, определяющий СКО оценки псевдодальности в виде

$$\sigma_R = \frac{c}{2\pi\beta_{RMS}} \sqrt{\frac{B_L}{L_{CORR} \cdot q}} = \frac{ck}{2\pi} \sqrt{\frac{B_L}{q}} \quad (2)$$

и зависящий от ЭШС сигнала β_{RMS} и корреляционных потерь L_{CORR} (здесь c - скорость света, B_L - односторонняя полоса частот схемы слежения за задержкой, q - отношение сигнал-шум).

Решающее правило синтеза КП $\{a_i\}$ представлено следующим образом:

$$F_0 \rightarrow \min_{\{a_i\}}, \quad \alpha_0 = const, \quad \Delta f = const, \quad (3)$$

где Δf - полоса частот сигнала.

Процедура синтеза заключается в делении символа ансамбля КП a_i на K импульсов равной длительности и оптимизации ВКП модифицированным методом по координатного спуска в соответствии с решающим правилом (3).

Результаты синтеза ВКП для двух полос пропускания приемников - $\Delta f = 6$ МГц и $\Delta f = 14$ МГц показаны на рисунках 1 и 2 соответственно.

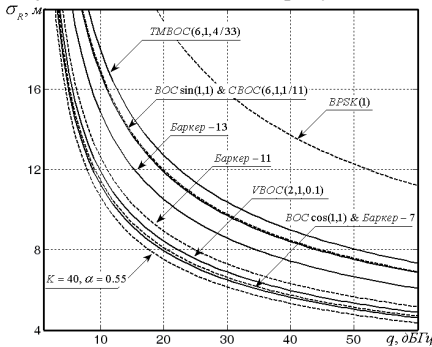


Рисунок 1

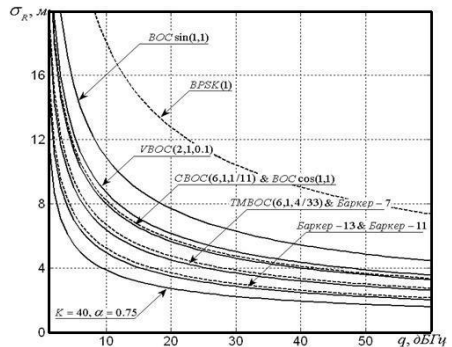


Рисунок 2

В частности для полосы частот 6 МГц были синтезированы сигналы, у которых при одинаковой нижней границе СКО оценки псевдодальности в АБГШ по сравнению с известными сигналами выигрыш в ОСШ составляет минимум 3...10 дБГц. В то же время для полосы частот 14 МГц синтезированы сигналы, у которых выигрыш в ОСШ составляет минимум 5...20 дБГц. В обоих случаях корреляционные потери не превышают 1 дБ, а УБЛ АКФ в среднем меньше на 26 % и 14,3 % соответственно.

Представленный выше алгоритм синтеза ВКП для ансамбля навигационных сигналов можно применить для быстрого синтеза формы СПМ (или амплитудного спектра) с провалом в области действия УП, что дает следующие преимущества по сравнению с известными методами режекции помех при обработке в приемнике:

- меньшие искажения исходного навигационного сигнала вследствие адаптации его формы СПМ к центральной частоте действия УП и занимаемой ей полосы частот;
- меньшие потери (в идеале близкие к нулю) в ОСШ при обработке навигационных сигналов, что повышает потенциальную точность позиционирования объектов.

В данном случае функционал минимизации и решающее правило синтеза представлено в виде:

$$F_1 = \alpha_1 \cdot p + (1 - \alpha_1) / E_{\Delta f}, \quad \alpha_1 = \overline{0,1}, \quad (4)$$

где p - отношение энергий синтезированных и начальных сигналов в полосе действия узкополосной помехи, $E_{\Delta f}$ - доля от полной энергии, содержащейся в полосе Δf .

$$F_1 \rightarrow \min_{\{a_i\}}, \quad y \leq y_0, \quad (5)$$

где y_0 - ограничение на уровень УБЛ АКФ.

В результате эксперимента в частности для полосы 2 МГц показана возможность подавления УП до 7 дБ, а для полосы 4 МГц до 10 дБ по сравнению с BPSK(1) сигналом и ансамблем Голда. При этом потери энергии, составляющие в среднем -1,4 дБ, можно скомпенсировать более длительным временем когерентного накопления навигационных сигналов в среднем на 35,6 % по сравнению с периодом КП BPSK(1) сигнала.

Одним из преимуществ НРНС является возможность синтеза ансамбля навигационных сигналов исходя из характеристик местности, на которой должна быть обеспечена навигация объектов и текущей помеховой обстановки.

Так для синтеза ансамбля КП с НЗ АКФ были выбраны следующие ПК:

1) Среднее максимальных значений УБЛ АКФ в области задержек шириной $\Delta\tau_{ZCZ}$ среди всех КП ансамбля K_{ZCZ} .

2) Среднее максимальных значений ВКФ среди всех пар КП ансамбля $\gamma_{BK\Phi}$.

3) Среднее максимальных значений УБЛ АКФ среди всех КП ансамбля $\gamma_{AK\Phi}$.

Функционал минимизации представлен в следующем виде:

$$F_2 = \alpha_2 K_{ZCZ} + \alpha_3 \gamma_{BK\Phi} + \alpha_4 \gamma_{AK\Phi} \rightarrow \min_{\{\alpha_i\}}, \quad \text{при } \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1. \quad (6)$$

При выборе «худшей» КП на каждой итерации процедуры синтеза возникает неопределенность в связи с наличием нескольких ПК. Далее выбор конкретной «худшей» КП из данных трех (или меньше, в случае совпадений) осуществляется исходя из того насколько соотношения ПК между собой приближены к соответствующим весовым коэффициентам $\{\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}$.

Для определения данного приближения была установлена нижняя граница для каждого ПК и определены их соотношения между собой в долях.

Так нижняя граница для $\gamma_{BK\Phi}$ и $\gamma_{AK\Phi}$ равна границе Велча:

$$W = \sqrt{(N-1)/(NL-1)}. \quad (7)$$

Исходя из того, что в идеальном случае ПК K_{ZCZ} должен быть равен нулю, функционал (6) представим в следующем виде:

$$F_3 = \alpha_2 (W - K_{ZCZ}) + \alpha_3 \gamma_{BK\Phi} + \alpha_4 \gamma_{AK\Phi}, \quad \text{при } \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1. \quad (8)$$

Вычисление соотношения ПК между собой в долях определяется как:

$$pQ_i = (1/(Q_i - W)) / \sum_{i=1}^3 (1/(Q_i - W)), \quad (9)$$

где Q_i - i -й показатель качества.

После этого, вычисляется максимум среди разностей

$$\Delta_i = \alpha_i - pQ_i, \quad (10)$$

и определяется i -й ПК, а также соответствующая ему «худшая» КП, которую и требуется оптимизировать.

Оптимизация текущей «худшей» КП осуществляется случайной инверсией нарастающего количества битов после каждого прохода КП.

В результате эксперимента в частности показано, что с целью обеспечения НЗ АКФ шириной до 4-х элементов КП для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов, достигнуты результаты, близкие к ансамблям Вейла и Голда, при этом НЗ АКФ достигается за несколько секунд синтеза, что позволяет полностью нейтрализовать негативное влияние многолучевого распространения радиоволн в дальней зоне и ретранслированных помех в заданной области задержек.

В случае синтеза ансамбля КП с МЗ ВКФ алгоритм синтеза аналогичен предыдущему за исключением замены ПК K_{ZCZ} величиной K_{ZCZX} , характеризующей МЗ ВКФ. Так в результате эксперимента в частности для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов получена максимальная величина ВКФ в области задержки шириной до 4-х элементов КП среди всех пар КП ансамбля, которая имеет значение в 4,12 и 4,62 раза меньше, чем у ансамблей Голда и Вейла соответственно, при этом максимальное значение УБЛ АКФ находится на сравнимом уровне.

В ряде ситуаций в определенный момент времени может быть произведена смена вида и параметров модуляции используемых навигационных сигналов НРНС. Если на этапе первичного радиомониторинга получена оценка частоты следования символов КП используемого ансамбля, то вид модуляции навигационных сигналов (форма АКФ и СПМ сигнала) для НРНС и СРНС ограничен следующим набором: BPSK и семейство ВОС-сигналов (с кратностями от 1 до 6 с шагом 0,5). Выбор автокорреляционного классификатора для экспресс-анализа спектрально-временной структуры навигационных сигналов среди ряда известных обоснован требованием минимума априорных данных о структуре сигнала и сигнально-помеховой обстановки.

Так каждый шаг процедуры классификации навигационных сигналов представляет собой определение значений абсциссы $\tau_{кл.}$ и ординаты $z_{кл.}$ (порога) АКФ R , разделяющий текущую группу известных сигналов на две подгруппы с максимальным расстоянием между ближайшими к порогу значениями контрольных точек АКФ

$$L_{class} = |r_1 - r_2| \rightarrow \max_{\tau_{кл.}, z_{кл.}}, \quad (11)$$

где r_1 и r_2 - ближайшие к порогу $z_{кл.}$ значения среди контрольных точек АКФ первой и второй подгрупп навигационных сигналов соответственно.

Кроме величины L_{class} , был введен ПК, учитывающий количество навигационных сигналов отнесенных к каждой из подгрупп, так как данный показатель определяет требуемое число шагов алгоритма N_{step} для классификации всех сигналов. Исходя из этого, целесообразно делить каждую группу на 2 равные подгруппы, т.е. ввести следующий ПК

$$K_{class} = n_{class1} / n_{class2} \rightarrow \max_{\tau_{кл.}, z_{кл.}} \text{ при } n_{class2} \geq n_{class1} \text{ и } \max(K_{class}) = 1, \quad (12)$$

где n_{class1} и n_{class2} - количество навигационных сигналов попавших в первую и вторую подгруппу соответственно.

Определение значений $\tau_{кл.}$ и $z_{кл.}$ на каждом шаге процедуры классификации навигационных сигналов осуществлялось методом перебора для величины $\tau_{кл.}$ в пределах от нуля до длительности символа КП, а для величины $z_{кл.}$ от 0 до 1.

Решающее правило процедуры оптимизации на каждом шаге представлено в следующем виде:

$$L_{class} \rightarrow \max_{\tau_{кл.}, z_{кл.}} \text{ при } K_{class} \rightarrow 1. \quad (13)$$

В результате выполнения процедуры классификации представленных выше видов сигналов по форме главного лепестка АКФ был обоснован конкретный алгоритм.

По результатам эксперимента алгоритм классификации показал вероятность правильного определения вида модуляции известных навигационных сигналов на уровне $P_M \approx 0.9$ при отношении сигнал-шум -10 дБ и выше. Кроме того, количество шагов N_{step} , используемых для их идентификации не превышает 4-х, что обеспечива-ет низкую вероятность перепутывания и время классификации.

Кроме задачи определения вида навигационных сигналов среди заданного множества (в частности, семейства ВОС-сигналов), представляет интерес обратная задача синтеза ВКП ансамбля навигационных сигналов, обеспечивающего наименьшую ве-роятность правильной классификации вида модуляции. Таким образом, в этом случае система радиомониторинга причислит синтезированный сигнал к одному из заданно-го множества навигационных сигналов или определит его как неизвестный вид.

Введен следующий ПК, определяющий меру сходства в контрольных точках между формой АКФ синтезированного сигнала и навигационными сигналами вы-бранными из множества как

$$I_{ACF} = \sum_{i=1}^{N_{nc}} \psi_i \cdot I_{acf i} = \sum_{i=1}^{N_{nc}} R_{syn}(\tau) \cdot \psi_i R_{HCl}(\tau), \quad (14)$$

где $R_{syn}(\tau)$ и $R_{HCl}(\tau)$ – АКФ в пределах одного символа КП синтезируемого ансамбля сигналов и i -го навигационного сигнала выбранного из множества, ψ_i – весовой ко-эффициент, определяющий степень влияния i -го навигационного сигнала из множе-ства на данный ПК, N_{nc} – количество навигационных сигналов заданного множества.

Также введен ПК, определяющий степень ослабления действия УП на синтези-руемый ансамбль сигналов как

$$P = \sum_{i=1}^{N_{nc}} \psi_i \cdot p_i = \sum_{i=1}^{N_{nc}} \psi_i E_{\Delta f_{syn}}^{nb} / E_{\Delta f i}^{nb}, \quad (15)$$

где $E_{\Delta f_{syn}}^{nb}$ и $E_{\Delta f i}^{nb}$ – энергии синтезированного и i -го навигационного сигнала из мно-жества в полосе действия УП Δf_{nb} .

При этом функционал минимизации и решающее правило синтеза представлены в виде

$$F_4 = \alpha_5 / I_{ACF} + (1 - \alpha_5) P \rightarrow \min_{\{a_i\}}, \text{ при } E_{\Delta f_{syn}} \geq E_0, \quad \alpha_5 = \overline{0, 1}. \quad (16)$$

Синтез ВКП навигационных сигналов проводился модифицированным методом покоординатного спуска. В эксперименте для полосы $\Delta f = 4$ МГц использовались BPSK(1) и ВОС(1;1) сигналы, а для полосы $\Delta f = 8$ МГц – ВОС(2;1) и ВОС(2,5;1). В результате синтезированы сигналы, АКФ которых занимают промежуточное положе-

ние между АКФ двух других навигационных сигналов, что приводит к высокой вероятности перепутывания с большой степенью инвариантности к применяемому алгоритму классификации, причем ослабление влияния УП в случае ее воздействия на синтезированные сигналы при перепутывании с выбранными навигационными сигналами составляет 4,5 дБ для полосы 4 МГц ($\Delta f_{nb} = 200$ кГц) и 3,2 дБ для 8 МГц ($\Delta f_{nb} = 400$ кГц).

Во второй главе проведена разработка процедур многокритериальной оптимизации топологии сети ОС на открытой местности, внутри помещения и за пределами здания с целью уменьшения геометрического фактора сети, динамического диапазона радиолинии и количества необходимых ОС.

Так для открытой местности в качестве основного ПК был выбран максимальный горизонтальный коэффициент геометрии (КГ) $K_{ГТ\max}$ среди всей ОР, определяющий потенциальную точность позиционирования на плоскости. В качестве второго ПК была введена величина, характеризующая эффект «ближний-дальний» («near-far effect») или динамический диапазон радиолинии как

$$D = \frac{1}{N_{OC}} \sum_j (r_{j\max} / r_{j\min}), \quad (17)$$

где $r_{j\max}$ и $r_{j\min}$ - максимум и минимум расстояния между j -й ОС и ОР. А в качестве третьего ПК использовалось количество ОС N_{OC} , влияющее на простоту и экономичность всей НРНС.

Функционал минимизации и решающее правило процедуры оптимизации представлены следующими выражениями:

$$F_5 = \alpha_6 N_{OC} + (1 - \alpha_6) \cdot (\beta K_{ГТ\max} + (1 - \beta) D), \quad (18)$$

где $\alpha_6 = \overline{0,1}$ и $\beta = \overline{0,1}$ - весовые коэффициенты;

$$F_5 \rightarrow \min_{\{x_j, y_j\}}, \text{ при } \alpha_6 = const, \beta = const. \quad (19)$$

Оптимизация топологии сети ОС заключалась в последовательном выборе текущей ОС и расчета наилучшего значения функционала минимизации в восьми ближайших направлениях перемещения на плоскости (см. рисунок 3).

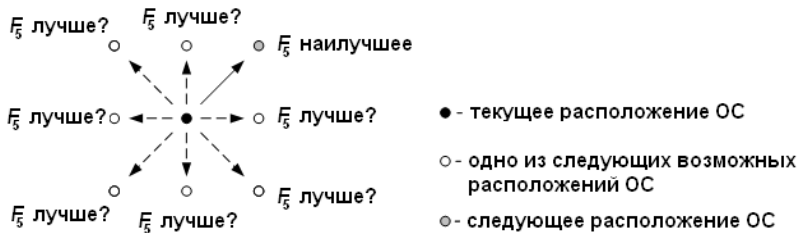


Рисунок 3 - Принцип выбора направления дальнейшего перемещения ОС

В качестве примера оптимизации для двух различных конфигураций местности (1,5x1,5 км и 0,5x1,5 км) и ОР (сосредоточенной по центру и протяженной полосы) были получены следующие компромиссные значения ПК (см. таблицу 1, здесь первая строка – сосредоточенная конфигурация, а вторая – протяженная).

Таблица 1– Значения ПК при компромиссных значениях коэффициентов α_6 и β

	N_{OC}	$K_{IT\max}$	D	F_5
$\alpha_6 = 0,8; \beta = 0,75$	6	0,86	2,08	0,28
$\alpha_6 = 0,6; \beta = 1$	11	0,89	7,36	0,42

Из анализа таблицы 1 следует, что максимальный горизонтальный КГ не превышает 1, что обеспечивает высокую потенциальную точность позиционирования.

В случае оптимизации топологии сети ОС внутри помещения высоты ОС фиксировались на уровне потолка с целью обеспечения наилучшей зоны прямой видимости. Процедура оптимизации и ПК аналогичны случаю открытой местности, за исключением того, что количество ОС задавалось изначально. Так, для примера оптимизации топологии сети ОС для помещения размером 30х20х4 м при $N_{OC} = 3...12$ были определены компромиссные значения $N_{oc} = 7$ и $\alpha_6 = 0,6$, а соответствующие ПК равны $K_{IT\text{mean}} = 1,6$ и $D = 3$, причем максимальное значение $K_{IT\max} = 4,8$ достигается в небольшом количестве точек ОР (не более 5%), что позволяет компенсировать эти значения за счет учета соседних определений.

Для случая размещения ОС вне здания при навигации внутри помещений, также оптимизировалась высота мачт ОС. При этом учитывалась сложность проникновения радиосигналов через стены здания.

Функционал минимизации и решающее правило процедуры оптимизации имеют следующий вид

$$F_6 = \alpha_7 K_{IT\max} + (1 - \alpha_7) D, \quad \alpha_7 = \overline{0,1}, \quad (20)$$

где $K_{IT\max}$ - максимальный пространственный КГ среди всей ОР;

$$F_6 \rightarrow \min_{\{x_j, y_j, z_j\}}. \quad (21)$$

По результатам эксперимента для П-образного здания размером 100х50 м и высотой 16 м с 4 этажами окон, была доказана возможность определения местоположения объектов внутри помещений с точностью до 3-х м по горизонтали и до 2-х м по вертикали при минимуме динамического диапазона радиолонии с условием не превышения ошибки измерения псевдодальностей в приемнике более 1 м.

В третьей главе разработан устойчивый двухэтапный алгоритм определения разности времени возникновения ВК РС для распределенной сети микрофонов, а также алгоритм определения разности времени возникновения сигналов РЗ. Также проведены исследования эффективности наиболее известных методов решения разностно-дальномерной задачи при различных конфигурациях взаимного расположения сети микрофонов и источников звука.

Показана эффективность алгоритма определения разности времени возникновения сигналов РЗ на основе порогового способа оценки времени задержек РЗ между каналами. В качестве РЗ использовались металлические соударения и хлопки руками.

Обнаружение РЗ выполнялось на основе превышения дисперсии РЗ дисперсии шума (1-й способ) и на основе тренда дисперсии фрагментов сигнала (2-ой способ).

Вычисление порога разных РЗ в каждом канале осуществлялось как

$$z_{ij} = n_v \sigma_{ij}, \quad (22)$$

где n_v - коэффициент (одинаковый для всех каналов), определяющий уровень порога j -го РЗ в i -ом канале, σ_{ij} - СКО РЗ.

На основе превышения РЗ порогов z_{ij} определялись моменты времени возникновения РЗ t_{ij} . Окончательное вычисление разности времени возникновения j -го РЗ для каждой пары каналов осуществлялось как

$$\Delta t_{ii-1}^j = t_{ij} - t_{i-1,j}, \quad i = 2 \dots N_{mic}. \quad (23)$$

где N_{mic} - количество микрофонов.

В результате эксперимента в помещении 6х5 м при 4-х микрофонах ошибка определения разности времени возникновения РЗ не превысила 0,6 мс (20 см по дальности) при ОСШ около 0 дБ и уменьшается практически до нуля при ОСШ более 8 дБ.

Для локализации источников РС прямое использование корреляционного метода оценки задержек (как это делается для МР) нецелесообразно, в связи с наличием высокого УБЛ АКФ речевого сигнала, приводящего к неоднозначности решения, что обусловлено большими расстояниями между микрофонами. В результате был предложен устойчивый двухэтапный алгоритм определения разности времени возникновения ВК РС. На первом этапе на основе тренда дисперсии ВК РС и порогов определялись взаимные задержки между каналами Δt_{ii-1}^j с целью попадания рабочей точки в область главного лепестка АКФ РС. Далее оценка задержек уточнялась корреляционным методом по пику АКФ. В результате эксперимента достижимая усредненная ошибка оценки задержек ВК составила не более 2 мс (67 см по дальности) при отношении сигнал-шум до 10 дБ и около 0,2 мс (6 см по дальности) при 30 дБ и выше.

Также в целях решения разностно-дальномерной задачи было показано, что для круговой топологии распределенной сети микрофонов целесообразно использовать итеративный метод Ньютона, а для линейной – конечный алгоритм на основе пересечения прямых.

В четвертой главе проведен анализ практической реализации НРНС и АЛЗ на основе последних тенденций развития систем локального позиционирования и современной элементной базы. Реализован генератор дифференциального сигнала КП для НРНС в виде печатной платы. Кроме этого, разработано программное обеспечение для определения местоположения источников звука на основе сети микрофонов и многоканального аудиоинтерфейса.

Обоснована концепция построения НРНС на основе сети синхронизированных ОС в виде радиосинхронизатора и приемопередатчиков. В результате на основе современной элементной базы приведены структурные схемы компонентов НРНС и проверены отдельные их функции на основе набора отладочных плат.

В частности был разработан генератор дифференциального сигнала КП на основе микроконтроллера и проверена на осциллографе синхронность выходных сигналов.

Также в целях оценки эффективности предложенных в третьей главе алгоритмов локализации источников РЗ и РС для АЛЗ был проведен натурный эксперимент в помещении при круговом расположении микрофонов и точность позиционирования составила в среднем 13,3 см для РЗ и 28,7 см для РС.

В заключении приведены основные научные и практические результаты диссертационной работы:

1 Показана возможность повышения потенциальной точности позиционирования объектов с помощью быстрого синтеза ВКП ансамбля в заданной полосе частот. В результате выигрыш в отношении сигнал-шум по сравнению с известными навига-

ционными сигналами составил в среднем 10 дБГц. При этом корреляционные потери не превышают 1 дБ, а УБЛ АКФ в среднем на 20 % меньше.

2 Доказана целесообразность синтеза ВКП ансамбля для уменьшения негативного влияния УП, действующей около несущей частоты навигационных сигналов. В частности показана возможность подавления УП до 7 дБ для полосы 2 МГц и 10 дБ для полосы 4 МГц по сравнению с BPSK(1) сигналом и ансамблем Голда. При этом потери энергии, составляющие в среднем -1,4 дБ, можно скомпенсировать более длительным временем когерентного накопления навигационных сигналов в среднем на 35,6 % по сравнению с периодом КП BPSK(1) сигнала.

3 Предложен алгоритм быстрого синтеза ансамбля КП с НЗ АКФ. В частности показана возможность получения НЗ АКФ шириной 4-е элемента КП для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов при корреляционных характеристиках близких к ансамблям Вейла и Голда.

4 Продемонстрирована эффективность быстрого синтеза ансамбля КП с МЗ ВКФ для минимизации взаимных помех и эффекта «ближний-дальний». В частности, для ансамбля из 8-ми КП длиной 256 элементов получена максимальная величина ВКФ в области задержки шириной 4-е элемента КП среди всех пар КП ансамбля, которая имеет значение в 4,12 и 4,62 раза меньше, чем у ансамблей Голда и Вейла.

5 Обоснована процедура классификации известных и перспективных навигационных сигналов на основе автокорреляционного классификатора при вероятности правильного определения вида модуляции на уровне 0,9 в случае ОСШ -10 дБ и выше практически для всех известных навигационных сигналов.

6 Продемонстрирована эффективность алгоритма многокритериального синтеза навигационных сигналов для НРНС с наименьшей вероятностью классификации вида модуляции. Так, на примере семейства ВОС-сигналов было получено среднее ослабление влияния УП в случае ее воздействия на синтезированные сигналы при перепутывании с выбранными навигационными сигналами из множества порядка 4,5 дБ для полосы 4 МГц (полоса УП 200 кГц) и 3,2 дБ для полосы 8 МГц (полоса УП 400 кГц).

7 Разработана процедура оптимизации топологии сети ОС на открытой местности, обеспечивающая горизонтальный КГ менее 1 при минимуме динамического диапазона радиолинии. На примере двух характерных конфигураций местности с сосредоточенной и протяженной ОР показана ее эффективность с учетом и без учета зон запрета.

8 Представлена процедура оптимизации топологии сети ОС внутри помещения, обеспечивающая горизонтальный КГ менее 3-х при минимуме динамического диапазона радиолинии.

9 Предложена процедура оптимизации топологии сети ОС вне здания для навигации внутри, обеспечивающая определение местоположения объектов внутри помещений с точностью до 3-х м по горизонтали и до 2-х м по вертикали при минимуме динамического диапазона радиолинии с условием не превышения ошибки измерения псевдодальностей в приемнике более 1 м.

10 Показана эффективность алгоритма определения разности времени возникновения сигналов РЗ на основе двух методов обнаружения РЗ и пороговом способе оценки времени задержек РЗ между каналами. В результате ошибка оценки задержек сигналов РЗ между каналами не превышает 0,6 мс (20 см по дальности) даже при ОСШ около 0 дБ и уменьшается практически до нуля при ОСШ более 8 дБ.

11 Продемонстрирована эффективность устойчивого алгоритма определения разности времени прихода ВК РС на основе двухэтапной обработки сигналов. В ре-

зультате достижимая усредненная ошибка оценки задержек ВК составила не более 2 мс (67 см по дальности) при отношении сигнал-шум до 10 дБ и около 0,2 мс (6 см по дальности) при 30 дБ и выше.

12 Разработано программное обеспечение, позволяющее определять местоположения источников РЗ и РС. В результате натурного эксперимента показана точность позиционирования источников РЗ и РС на уровне единиц дециметров, полученная в реальном масштабе времени.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Бердников В.М. Расчет ошибки позиционирования для существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем при воздействии помех. // 15-я МНТК. Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. РГРТУ. Рязань 2008. – С. 45-46.

2 Бердников В.М. Анализ ошибки определения координат потребителя для существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем. // 33-я ВНТК. Сети, системы связи и телекоммуникации. РВВКУС. Рязань 2008. – С. 131-133.

3 Бердников В.М. Анализ помехоустойчивости алгоритмов определения координат потребителя для существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем. // 13-я ВНТК студентов, молодых ученых и специалистов. Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании. РГРТУ. Рязань 2008. – С. 71-72.

4 Бердников В.М. Анализ помехоустойчивости существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем. // Вестник РГРТУ - 2008. - № 3 (Выпуск 25). – С. 36-39.

5 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Устойчивые к влиянию узкополосных помех сигналы спутниковых навигационных систем. // Научная сессия МИФИ-2009. Том 3. МИФИ. Москва 2009. – С. 140.

6 Кириллов С.Н., Бердников В.М., Крешихин Д.Н. Программно-аппаратная реализация сигналов со сложной частотно-временной структурой. // 11-я Международная конференция и выставка ЦОС-2009. Москва 2009. – С. 16-19.

7 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Многокритериальный синтез сигналов спутниковых навигационных систем. // 14-я ВНТК студентов, молодых ученых и специалистов. Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании. РГРТУ. Рязань 2009. – С. 25-28.

8 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Многокритериальный синтез сигналов спутниковых навигационных систем. // Вестник РГРТУ - 2009. - № 4 (Выпуск 30). – С. 22-27.

9 Тимошина Н.Е., Снегирев В.М., Ватугин В.М., Полтавец Ю.И., Кириллов С.Н., Бузыкканов С.Н., Бердников В.М., Косткин И.В. Система профессиональной подготовки операторов в режиме «Тренаж» для комплекса радиомониторинга // Труды II ВНТК «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященной 100-летию со дня рождения М.С. Рязанского, 2-4 июня 2009 г. / под ред. Ю.М. Урлича, А.А. Романова. М.: Радиотехника, 2010. – 272с. – С. 86-91.

10 Ступак Г.Г., Ежов С.А., Толмачев В.И., Ватугин В.М., Круглов А.В., Кириллов С.Н., Бердников В.М. Устойчивые к влиянию узкополосных помех сигналы спутниковых навигационных систем. // Труды II ВНТК «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященной 100-

летию со дня рождения М.С. Рязанского, 2-4 июня 2009 г. / под ред. Ю.М. Урлича, А.А. Романова. М.: Радиотехника, 2010. – 272с. – С. 101-102.

11 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Анализ возможности определения вида и параметров модуляции навигационных сигналов на основе автокорреляционного классификатора. // 15-я ВНТК студентов, молодых ученых и специалистов. Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании. РГРТУ. Рязань 2010. – С. 31-34.

12 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Процедура многокритериальной оптимизации топологии сети опорных станций для наземной радионавигационной системы. // Вестник РГРТУ - 2010. - № 3 (Выпуск 33). – С. 19-24.

13 Кириллов С.Н., Бердников В.М., Круглов А.В., Ватулин В.М. Синтез созвездия радиомаяков в зонах с ограниченной видимостью спутников глобальных навигационных спутниковых систем для интегрированной навигации. // Труды III ВНТК «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», Москва, 1-3 июня 2010 г. / под ред. Ю.М. Урлича, А.А. Романова. М.: Радиотехника, 2011. – 537с. – С. 151-154.

14 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Процедура оптимизации топологии сети опорных станций для интегрированной радионавигационной системы // 18-я МКИНС, Санкт-Петербург, 30 мая - 1 июня 2011. Сборник докладов конференции (англ.). – С. 286-289.

15 Бердников В.М. Многокритериальный синтез ансамбля кодовых последовательностей с нулевой зоной автокорреляционной функции для наземной радионавигационной системы // Межвузовский сборник научных трудов "Информационные технологии", Рязань 2011. – С. 37-41.

16 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Многокритериальный синтез ансамбля кодовых последовательностей с наименьшей зоной ВКФ. – С. 232-241. Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии. 2011. Труды IV ВНТК «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» (15-17 июня 2011 г.) / Под ред. Ю.М. Урличича, А.А. Романова. М.: Радиотехника, 2012. – 632 с.: ил.

17 Бердников В.М. Алгоритм определения местоположения источников резких звуков для распределенной микрофонной решетки // 16-я ВНТК студентов, молодых ученых и специалистов. НИТ-2011. РГРТУ. Рязань 2011. – С. 34-37.

18 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Устойчивый алгоритм определения местоположения диктора для распределенной сети микрофонов. // Вестник РГРТУ - 2011. - № 4 (Выпуск 38). – С. 3-9.

19 Кириллов С.Н., Бердников В.М. Устойчивый алгоритм определения местоположения диктора для распределенной сети микрофонов. // 17-я МНТК посвященная 60-летию РГРТУ «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». РГРТУ. Рязань 2012. – С. 25-26.

20 Бердников В.М. Алгоритм многокритериального синтеза навигационных сигналов с наименьшей вероятностью классификации вида модуляции // Вестник РГРТУ - 2012. - № 3 (Выпуск 41). – С. 41-45.

21 Бердников В.М. Алгоритм многокритериальной оптимизации сети опорных станций за пределами зданий для навигации внутри помещений // 17-я ВНТК студентов, молодых ученых и специалистов. НИТ-2012. РГРТУ. Рязань 2012. – С. 149-151.

Бердников Вадим Михайлович

Процедуры и алгоритмы синтеза сигналов и структур систем локального
позиционирования

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 21.10.2013

Формат бумаги 60x84 1/16.

Тираж 100 экз. Заказ № 5562.

Отпечатано в ИП Панкин М.Н.

390013, г. Рязань, Первомайский пр-т, 64.