

На правах рукописи

ЛОГИНОВ Алексей Андреевич

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ
СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ
ФИЛЬТРАЦИИ**

01.04.03 – радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Новгород – 2007

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор В. Р. Фидельман

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор А. А. Мальцев

доктор технических наук,
профессор А. Г. Рындык

Ведущая организация: Московский технический университет
связи и информатики (МТУСИ)

Защита состоится “_____” _____ 2007 г. в _____ часов на
заседании диссертационного совета Д 212.166.07 при Нижегородском
государственном университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603950,
Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, корп. 1, ауд. 420.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

Автореферат разослан “_____” _____ 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м.н., доцент

Черепенников В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность темы

Одной из основных задач современной цифровой обработки сигналов является задача обнаружения и оценки параметров сигналов на фоне помех. Проблема эффективного анализа и определения характеристик сигналов в присутствии помех различной природы на сегодняшний день представляет собой не только одно из важнейших направлений исследований статистической радиофизики, но и актуальную область активных разработок для многочисленных технических приложений. Различные критерии при проектировании оптимальных устройств обработки сигналов, а также различные модели описания шумовых процессов обусловили большое число применяемых для решения данных задач подходов. Фундаментальные работы В.А. Котельникова, Ю.С. Лезина, Б.Р. Левина, В.И. Тихонова, П.А. Бакута, П.С. Акимова, Ю.Г. Сосулина и многих других ученых, посвященные решению общих задач анализа сигналов в присутствии помех, являются надежной теоретической базой для постановки и решения конкретных задач обработки сигналов. Кроме того, современный уровень развития схмотехники и элементной базы, а также интенсивное использование спутниковых каналов связи ставят новые задачи, определяемые как стремительным развитием средств радиосвязи и радиолокации, так и возможностью реализации оборудования с использованием компактных и надежных цифровых вычислительных систем.

Такой задачей, в частности, является задача определения параметров сигналов при многоканальном распространении. Одним из наиболее общих практических вопросов, возникающих во многих областях прикладной физики и техники (радиосвязь и радиолокация, сейсмозвездка, гидроакустика, гидролокация, дефектоскопия), является проблема измерения взаимной временной задержки между двумя искаженными шумом копиями сигнала, распространяющимися по разным каналам, причем сам сигнал может быть неизвестен. Знание временной задержки между принятыми сигналами позволяет определять положение объектов излучения и получать важную информацию о структуре среды распространения. На сегодняшний день общего подхода к определению взаимной временной задержки не существует. Например, в задачах радиолокации и задачах исследования среды распространения традиционно используют сигналы с хорошими корреляционными свойствами (коды Фрэнка, Велти, Баркера, М-последовательности) и специальные методы обработки, позволяющие не только повысить отношение сигнал/шум, но и уменьшить объем обрабатываемой информации. Оценка временной задержки в задачах определения местоположения источника излучения обычно производят на основе методов оптимальной (согласованной) фильтрации.

Специфика обработки сигналов систем радиосвязи, во многих случаях представляющих собой кодовые пакеты короткой длительности с фазовой или частотной манипуляцией с относительно узкой полосой частот в присутствии шумов высокого уровня и различной природы, ограничивает возможность применения традиционных подходов и объясняет причину сохраняющегося

интереса к разработке методов решения подобных задач. Основными причинами, обычно усложняющими реализацию алгоритма оценки временной задержки, как правило, является низкое (до 0 дБ и ниже) соотношение сигнал/шум в канале распространения и необходимость учета изменения истинного времени задержки вследствие относительного движения источника и приемника излучения. Кроме того, особенностью разрабатываемых алгоритмов должна быть возможность их реализации на базе программируемой логики и сигнальных процессоров. Такая постановка задачи накладывает ограничение на сложность алгоритма, объем кода и время выполнения в соответствии с аппаратными возможностями выбранной для практического применения вычислительной системы.

Основные трудности при решении поставленной задачи на основе традиционных корреляционных методов и согласованной фильтрации связаны с неконтролируемым изменением параметров обрабатываемых сигналов. В частности, прохождение сигналов по спутниковым каналам связи или различные дисперсионные характеристики каналов распространения приводят к смещению и масштабированию спектра сигналов. Для применения традиционных методов необходимо компенсировать частотный сдвиг, что обычно делается введением перебора по частоте и приводит к большим вычислительным затратам. Алгоритмы определения временной задержки сигналов, основанные на нелинейной цифровой обработке исходных сигналов и не требующие компенсации неизвестного частотного сдвига, позволяют значительно сократить время вычислений. А устойчивость алгоритмов по отношению к неконтролируемым шумовым помехам в канале передачи данных является необходимым требованием, обеспечивающим возможность их применения в широком диапазоне условий и прикладных задач при комплексном воздействии всех обозначенных факторов.

Цель диссертации

Целью диссертационной работы является разработка устойчивых алгоритмов цифровой обработки сигналов, содержащих информационные пакеты с фазовой манипуляцией. Специфика алгоритмов состоит в необходимости определения параметров сигналов в присутствии аддитивных и мультипликативных шумов высокого уровня в условиях неточного, например, вследствие влияния эффекта Доплера при распространении по спутниковым каналам связи, знания несущей частоты. Кроме того, особое внимание уделено требованию простой и эффективной реализации алгоритмов для работы в режиме реального времени на базе цифровых сигнальных процессоров и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Научная новизна

В диссертационной работе для решения задачи определения взаимной временной задержки предложены алгоритмы предварительной обработки сигналов с помощью избыточных линейных фильтров. Способ вычисления коэффициентов фильтров заключается в модификации метода минимальной дисперсии Кейпона. Модификация основана на искусственном увеличении

значения порядка модели в подходе Кейпона с целью создания дополнительных параметров, обеспечивающих существование не единственного решения минимума дисперсии для коэффициентов фильтра. Множество решений дает дополнительную возможность использовать вариационные принципы выбора того из них, которое обладает предпочтительными для задачи определения временной задержки свойствами. В диссертационной работе для получения оптимального решения в условиях недостаточной информации при ограниченном наборе коэффициентов фильтра применялся принцип оптимизации информационного функционала. Такой подход не только учитывает характерные особенности обрабатываемых сигналов и требования, налагаемые на амплитудно-частотную характеристику, но и позволяет получать коэффициенты фильтра, устойчивые к несоответствию порядка модели обрабатываемому сигналу.

Практическая значимость работы

Большинство известных методов определения временной задержки сигналов в условиях неточного знания несущей частоты на фоне шумов высокого уровня реализуются на основе алгоритмов компенсации смещения спектра сигнала, например, на основе анализа функции неопределенности или методов обобщенной корреляции и, в общем случае, требуют априорных сведений о спектральном составе обрабатываемых сигналов и шумов. Для обеспечения требуемой точности оценки величины временной задержки необходимо обрабатывать большие объемы данных, что не позволяет производить оценку в реальном масштабе времени, поскольку компенсация неизвестного частотного сдвига производится по всей области неопределенности.

В диссертационной работе предложены алгоритмы определения временной задержки фазоманипулированных сигналов, позволяющие избежать необходимости компенсации неизвестного частотного сдвига посредством нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения с целью выделения фазовых разрывов исходных сигналов. Предлагаемые алгоритмы допускают эффективную реализацию на базе ПЛИС и сигнальных процессоров. Проведенные исследования устойчивости работы алгоритмов по отношению к аддитивным и фазовым шумам дают основания для их применения в задаче определения временной задержки сигналов с фазовой манипуляцией в условиях неточного знания несущей частоты в присутствии шумов высокого уровня.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Цифровой алгоритм обработки фазоманипулированных сигналов избыточным линейным фильтром в задаче определения взаимной временной задержки при многоканальном распространении и способ модификации подхода минимальной дисперсии Кейпона для определения коэффициентов избыточного линейного фильтра на основе принципа оптимизации информационного функционала.
2. Результаты моделирования и исследования устойчивости работы алгоритма определения взаимной временной задержки при

многоканальном распространении по отношению к уровню аддитивных и мультипликативных шумов в условиях неточного знания несущей частоты обрабатываемых сигналов.

3. Алгоритм нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов, его применение и программная реализация в задаче определения взаимной временной задержки.
4. Реализация алгоритма комбинированной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов в задаче определения временной задержки. Получение комплексного представления сигналов на основе линейной фильтрации с использованием принципа оптимизации информационного функционала.
5. Результаты моделирования устойчивости работы алгоритмов определения временной задержки на основе нелинейной цифровой фильтрации в условиях доплеровского смещения несущей частоты по отношению к влиянию уровня аддитивных шумов.

Апробация результатов и публикации

По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 5 статей в сборниках трудов научных конференций и 6 тезисов докладов.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались: на всероссийской научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» (Нижний Новгород, 2006-2007 гг), на международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (Москва, 2005-2007 гг), на научной конференции по радиофизике (Нижний Новгород, РФ ННГУ, 2005-2006 гг), на международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2006-2007 гг).

Личный вклад автора

Автору принадлежат алгоритмы нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов и их применение в задаче определения временной задержки. Выбор направления исследования, постановка задач и обсуждение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем Фидельманом В.Р. и доцентами кафедры ИФТИ физического факультета ННГУ Морозовым О.А. и Солдатовым Е.А. Аналитические и численные расчеты, реализация и имитационное компьютерное моделирование предложенных алгоритмов выполнены лично автором.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы и четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 134 страницы, включая 71 рисунок и список литературы из 122 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются ее цели, кратко излагается содержание диссертации, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит краткий обзор актуальных в настоящее время задач, связанных с обнаружением и оценкой параметров сигналов. Рассматриваются методы оптимальной (согласованной) фильтрации, подходы на основе обобщенного «кросс-коррелятора», функции неопределенности и связанные с ними алгоритмы, традиционно применяемые для решения задач обнаружения и определения временной задержки сигналов при многоканальном распространении в условиях неточного знания несущей частоты. Обсуждены современные подходы к синтезу цифровых фильтров, отмечена возможность их модификации с целью учета особенностей поставленной в диссертации задачи. Приводится краткое описание преимуществ и недостатков, присущих традиционным методам, а также специфические условия и характерные требования, предъявляемые в настоящее время к разработке и тестированию алгоритмов оценки параметров сигналов. В заключении главы формулируются основные направления проведенного в данной работе исследования.

Во второй главе обосновывается возможность применения теоретико-информационного подхода к решению задач оптимальной фильтрации и оценки временной задержки сигналов.

П. 2.1-2.2 посвящены подходу к решению плохо обусловленных систем линейных уравнений для нахождения коэффициентов оптимального фильтра. Показано, что для обобщения решения по методу наименьших квадратов, полученного на основе псевдообратной матрицы с использованием сингулярного разложения, может быть применен метод оптимизации информационного функционала, вид которого определяется исходя из физической постановки задачи. Обоснована возможность использования усеченного сингулярного разложения в качестве универсального и гибкого подхода к решению линейных некорректно поставленных задач.

В п. 2.3 проведен анализ проблемы увеличения количества коэффициентов фильтра для учета требований, налагаемых на амплитудно-частотную характеристику, за границу, определяемую условием эффективной аппаратной реализации разрабатываемых алгоритмов для работы в режиме реального времени и сформулированы методы ее решения с использованием энтропийных функционалов в форме Шеннона и Берга.

В п. 2.4 обсуждаются свойства информационных функционалов энтропии в форме Шеннона и Берга. Показано, что выпуклость данных функционалов обеспечивает единственность решения при использовании линейных ограничений. На основе проведенного анализа для решения задачи синтеза фильтра в условиях недостаточной информации при ограниченном числе коэффициентов фильтра предложено применять функционал информационной энтропии в форме Берга, аргументом которого служит амплитудно-частотная характеристика синтезируемого фильтра.

В п. 2.5 предложен адаптивный алгоритм предварительной обработки фазоманипулированных сигналов на фоне шумов при наличии эффекта Доплера. Обработка, заключающаяся в выделении фазовых разрывов исходных сигналов с помощью предложенного избыточного линейного фильтра, позволяет избежать необходимости компенсации частотного сдвига в задачах определения временной задержки при многоканальном распространении.

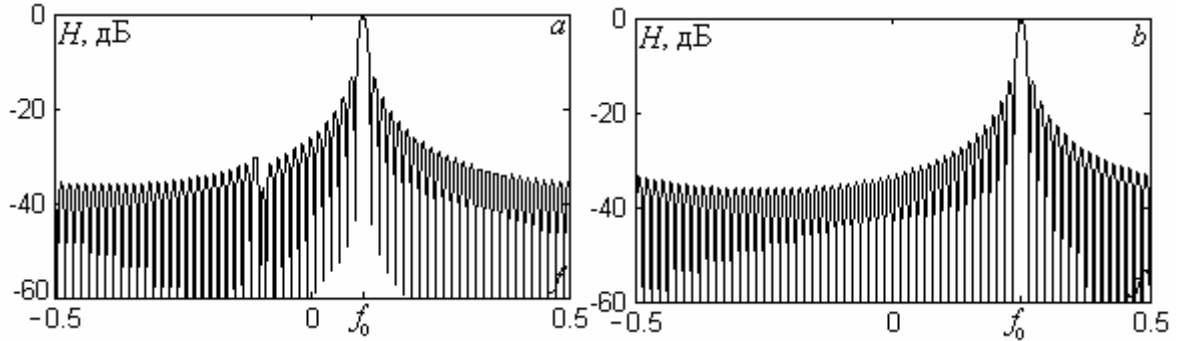


Рис. 1. Вид частотной характеристики фильтра, вычисленной с использованием критерия минимума нормы вектора коэффициентов.

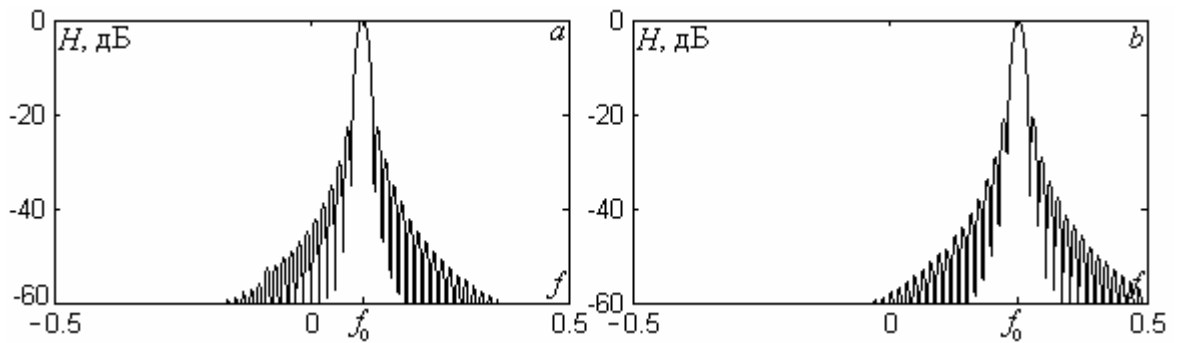


Рис. 2. Вид частотной характеристики фильтра, вычисленной с использованием критерия «минимизации спектральной полосы».

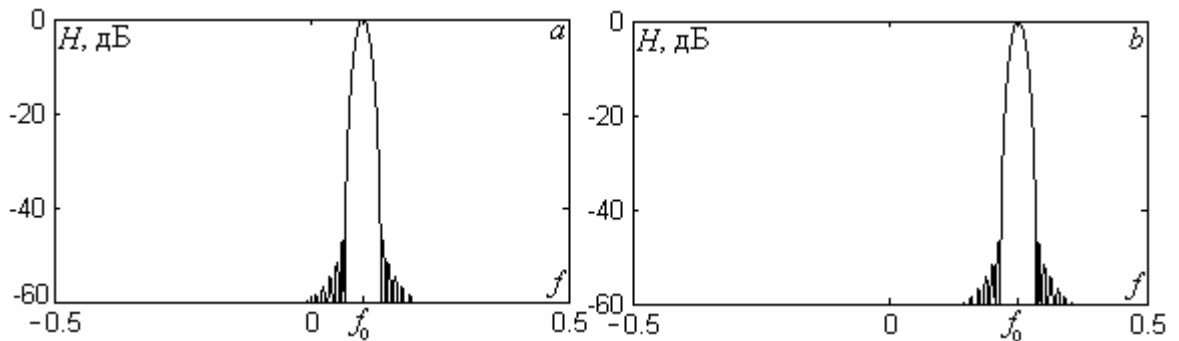


Рис. 3. Вид частотной характеристики фильтра, вычисленной с использованием критерия максимума информационной энтропии Берга.

С целью обеспечения требуемых свойств частотной характеристики коэффициенты фильтра находятся на основе теоретико-информационного подхода с использованием нескольких видов функционалов: критерия минимума нормы вектора коэффициентов (рис. 1), критерия «минимизации спектральной полосы» (рис. 2), критерия максимума информационной энтропии в форме Берга (рис. 3). На рис. 1–3 приведен вид амплитудно-частотной характеристики

фильтра для $f_0 = 0.1$ (а) и $f_0 = 0.25$ (б), количество коэффициентов фильтра $p = 64$. Частоты заданы в долях частоты дискретизации. Кроме того, в п. 2.5 приведены результаты исследований эффективности предложенного подхода к определению временной задержки сигналов с различными несущими частотами и шумовыми характеристиками. Зависимость дисперсии определения временной задержки сигналов от уровня аддитивного шума приведена на рис. 4.

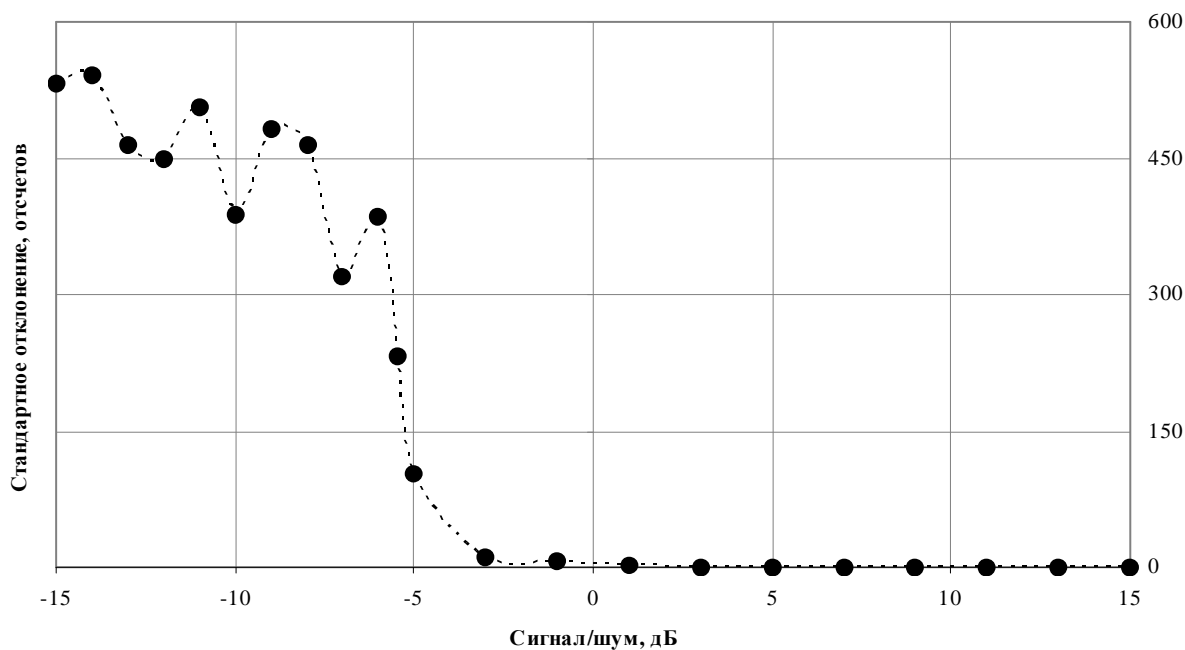


Рис. 4. Зависимость дисперсии определения временной задержки сигналов от уровня аддитивного шума.

Анализ данной зависимости позволяет сделать вывод о том, что предложенный алгоритм устойчиво работает при отношении сигнал/амплитудный шум не менее -3 дБ; максимальная ошибка определения временной задержки в таких условиях не превышает 10 отсчетов. При увеличении уровня аддитивного шума до -5 дБ ошибка определения временной задержки возрастает до 100 отсчетов. Временную задержку, определенную при отношении сигнал/амплитудный шум менее -6 дБ, нельзя считать достоверной.

В п. 2.6 сделаны выводы по второй главе.

Третья глава посвящена разработке и исследованию алгоритма нелинейной цифровой фильтрации фазоманипулированных сигналов, а также применению разработанного алгоритма в задаче определения взаимной временной задержки в условиях неточного знания несущей частоты на фоне шумов высокого уровня (п. 3.1).

В п. 3.2-3.3 для выделения фазовых разрывов исходных сигналов предложен квадратичный фильтр, построенный на основе линейного фильтра минимальной дисперсии Кейпона, и алгоритм определения временной задержки сигналов при многоканальном распространении, основанный на фильтрации автокорреляционных последовательностей обрабатываемых сигналов,

вычисленных по короткой выборке с использованием скользящего окна, с помощью предложенного квадратичного фильтра с последующей корреляционной обработкой. Переход от фильтрации самих сигналов к фильтрации оценок их корреляционных последовательностей производится с целью устранения чувствительности фильтра к положению фазовых разрывов и выравнивания откликов фильтра, соответствующих манипуляциям на различных фазах обрабатываемых сигналов. Кроме того, отклик фильтра перестает быть дельтаобразным, что положительно сказывается на последующей корреляционной обработке. Предлагаемый метод позволяет избежать компенсации неизвестного частотного сдвига исходных сигналов и значительно сократить время вычислений по сравнению с «кросс-корреляционным» подходом.

В работе приведены замечания по программной реализации алгоритма (п. 3.4) и результаты его тестирования в условиях доплеровского смещения несущей частоты на фоне аддитивных шумов высокого уровня (п. 3.5). Зависимость вероятности правильного определения временной задержки сигналов от уровня аддитивного шума приведена на рис. 5.

Для коротких фазоманипулированных сигналов (длина информационной составляющей не превышала 20 бит) получены следующие результаты (рис. 5, линия 1): алгоритм устойчиво работает при отношении сигнал/амплитудный шум не менее -3 дБ. Вероятность правильного определения временной задержки в таких условиях близка к 1. Увеличение длины информационной составляющей до 60 бит (рис. 5, линия 2) позволяет повысить вероятность правильного обнаружения в случаях, когда уровень шума сравним с уровнем сигнала. В частности, для уровня шума 0 дБ достоверная оценка временной задержки может быть выполнена с вероятностью 0,99.

В п. 3.6 сделаны выводы по третьей главе.

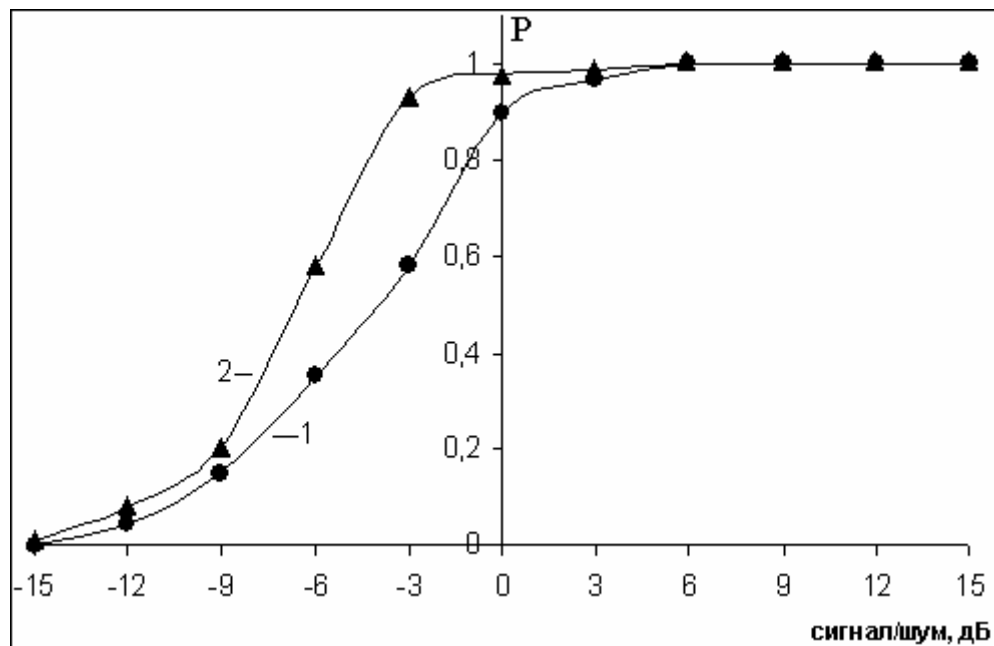


Рис. 5. Зависимость вероятности правильного определения временной задержки сигналов от уровня аддитивного шума.

В четвертой главе предлагается двухступенчатый метод цифровой фильтрации фазоманипулированных сигналов в задаче определения временной задержки при многоканальном распространении. Первую ступень составляет информационно-оптимальный линейный фильтр с комплексными коэффициентами, вторую – рассмотренный в третьей главе квадратичный фильтр. Информационно-оптимальный линейный фильтр осуществляет переход от действительного сигнала к комплексному с целью восстановления текущей фазы гармонического колебания. Данное решение позволяет неявно учесть начальную фазу обрабатываемого сигнала и устранить исходную причину искажения отклика квадратичного фильтра, что является существенным моментом для дальнейшей корреляционной обработки отфильтрованных ФМ сигналов в задаче определения временной задержки (п. 4.1).

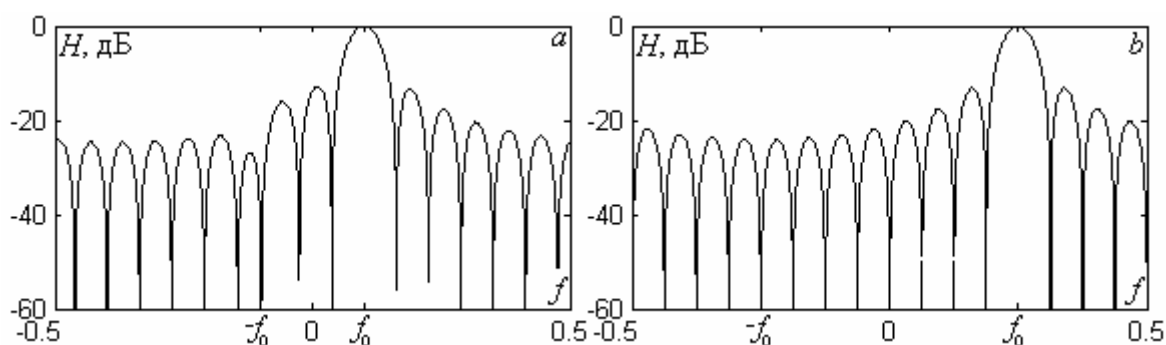


Рис. 6. Вид частотной характеристики фильтра, вычисленной с использованием критерия минимума нормы вектора коэффициентов.

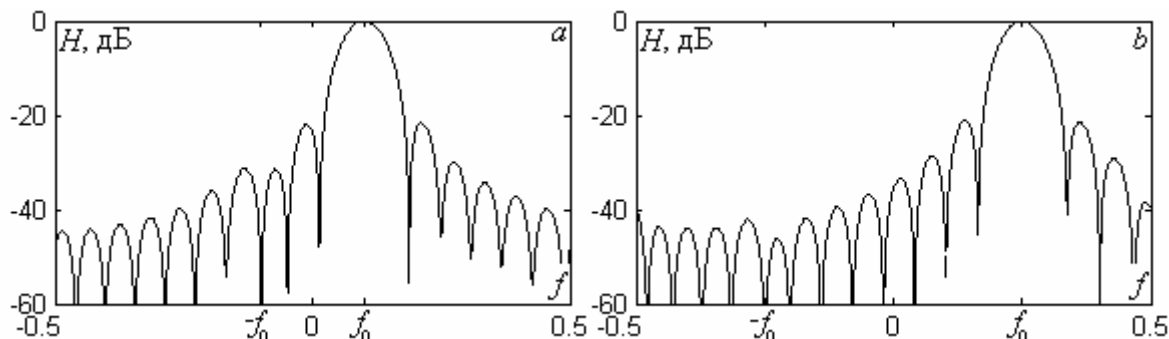


Рис. 7. Вид частотной характеристики фильтра, вычисленной с использованием критерия «минимизации спектральной полосы».

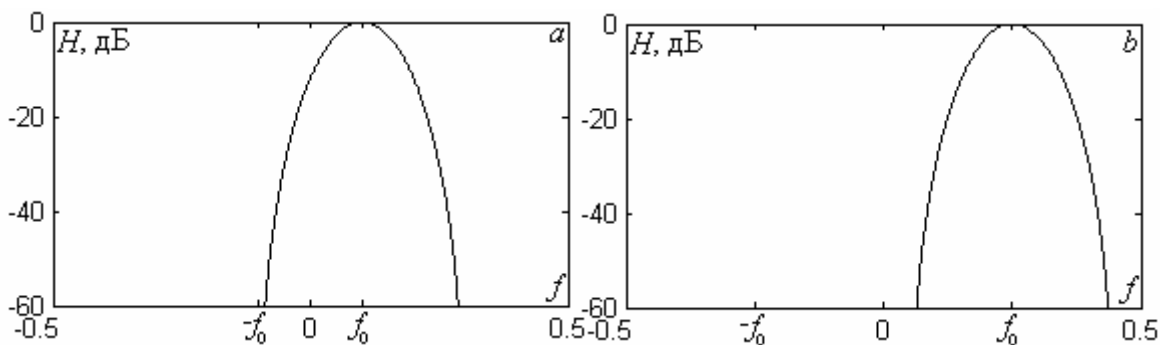


Рис. 8. Вид частотной характеристики фильтра, вычисленной с использованием критерия максимума информационной энтропии Берга.

Коэффициенты информационно-оптимального линейного фильтра найдены для трех видов функционалов: критерия минимума нормы вектора коэффициентов (рис. 6), критерия «минимизации спектральной полосы» (рис. 7), критерия максимума информационной энтропии в форме Берга (рис. 8). На рис. 6–8 приведен вид амплитудно-частотной характеристики фильтра для $f_0 = 0.1$ (а) и $f_0 = 0.25$ (б), количество коэффициентов фильтра $p=16$. Частоты заданы в долях частоты дискретизации (п. 4.2-4.3).

В п. 4.3 представлен алгоритм комбинированной цифровой фильтрации в задаче определения временной задержки, заключающийся в последовательном прохождении обрабатываемых сигналов через два фильтра (фильтр получения комплексного представления сигналов и нелинейный фильтр, рассмотренный в третьей главе) с последующей корреляционной обработкой.

В работе приведены замечания по программной реализации алгоритма (п. 4.4) и результаты сравнения свойств амплитудно-частотных характеристик предлагаемых фильтров. Работоспособность предложенного метода продемонстрирована на коротких сигналах с фазовой манипуляцией, имеющих различные несущие частоты на фоне аддитивных и мультипликативных шумов (п. 4.5). Исследована возможность простой и эффективной реализации на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) для работы в режиме реального времени.

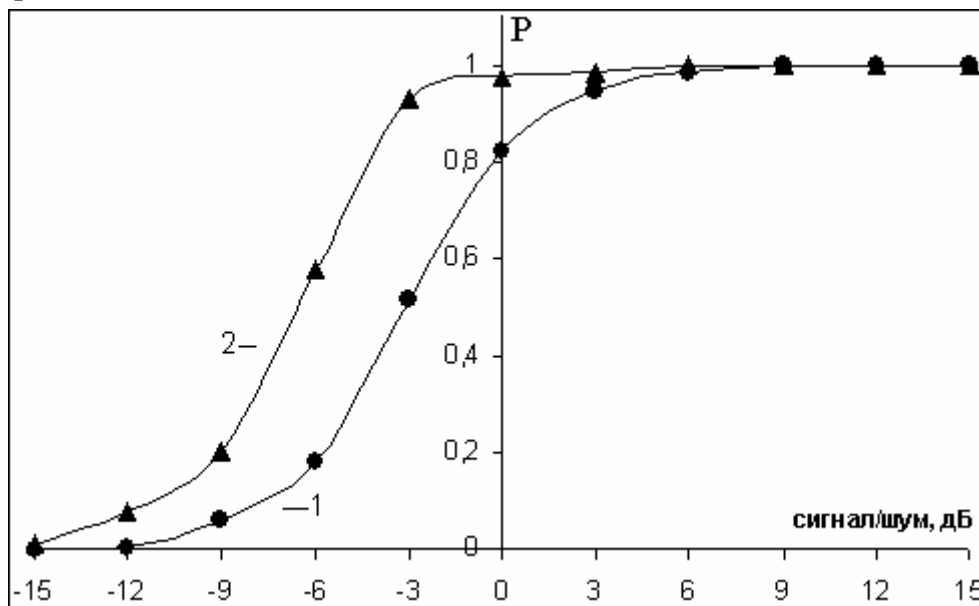


Рис. 9. Зависимость вероятности правильного определения временной задержки сигналов от уровня аддитивного шума.

Зависимость вероятности правильного определения временной задержки для коротких фазоманипулированных сигналов (длина передаваемого кода составляла 60 бит) от уровня аддитивного шума приведена на рис. 9 (линия 1). Алгоритм устойчиво работает при отношении сигнал/амплитудный шум не менее 3 дБ. Вероятность правильного обнаружения в таких условиях близка к 1. Предлагаемый алгоритм уступает представленному в третьей главе (рис. 9 линия 2) в устойчивости по отношению к аддитивным шумам, однако обеспечивает

существенный выигрыш во времени вычислений, так как не требует скользящего вычисления АКП обрабатываемых сигналов.

В п. 4.6 сделаны выводы по четвертой главе.

В заключении содержится сводка основных результатов и даются выводы по работе в целом.

В **приложении 1** обсуждается принцип максимальной энтропии, применяемый для выбора предпочтительного из всех одинаково хорошо согласующихся с имеющимися данными решения, и сформулирована теорема о концентрации энтропии.

В **приложении 2** в качестве примера приведены информационно-оптимальные модели в физике.

В **приложении 3** рассматривается применение метода максимальной энтропии к спектральному анализу случайных процессов. Показана связь с авторегрессионными моделями.

Приложение 4 посвящено использованию методов многомерной оптимизации при решении задачи нахождения коэффициентов фильтра. Приведен характер оптимизируемой функции.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, заключаются в следующем:

1. Разработан цифровой алгоритм предварительной обработки фазоманипулированных сигналов избыточным линейным фильтром в задаче определения взаимной временной задержки при многоканальном распространении.
2. Предложен способ модификации подхода минимальной дисперсии Кейпона для определения коэффициентов избыточного линейного фильтра на основе принципа оптимизации информационного функционала.
3. Проведено моделирование и исследование устойчивости работы алгоритма определения взаимной временной задержки при многоканальном распространении по отношению к уровню аддитивных и мультипликативных (фазовых) шумов в условиях неточного знания несущей частоты обрабатываемых сигналов.
4. Разработан и применен в задаче определения взаимной временной задержки алгоритм нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов.
5. Разработан алгоритм комбинированной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов в задаче определения временной задержки. Предложен способ получения комплексного представления сигналов на основе линейной фильтрации с использованием принципа оптимизации информационного функционала.
6. Эффективность разработанных алгоритмов цифровой фильтрации показана на коротких сигналах с фазовой манипуляцией, имеющих различные несущие частоты на фоне аддитивных и мультипликативных шумов.
7. Исследована возможность простой и эффективной реализации разработанных алгоритмов с использованием ПЛИС и сигнальных процессоров для работы в режиме реального времени.

Разработанные алгоритмы позволяют избежать необходимости компенсации неизвестного частотного сдвига посредством нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения исходных сигналов и сократить вычислительные затраты по сравнению с традиционными подходами к решению задачи определения взаимной временной задержки.

СПИСОК РАБОТ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Логинов А.А., Морозов О.А., Солдатов Е.А., Фидельман В.Р. Алгоритм обработки фазоманипулированных сигналов избыточным линейным фильтром в задаче определения временной задержки. // Автометрия. 2006. Т. 42, № 4. С.91-99.
2. Логинов А.А., Морозов О.А., Солдатов Е.А., Фидельман В.Р. Применение нелинейной цифровой фильтрации на основе подхода минимальной дисперсии Кейпона в задаче определения временной задержки. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия Радиофизика. 2005. В.1(3). С.135-142.
3. Логинов А.А., Солдатов Е.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Алгоритм обработки сигналов с фазовой и частотной манипуляцией в задаче определения временной задержки. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, выпуск VII - 1. М.: 2005. С. 215-218.
4. Логинов А.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Адаптивный цифровой алгоритм определения временной задержки фазоманипулированных сигналов. // Тр. (девятой) научной конференции по радиофизике «Факультет – ровесник Победы». 7 мая 2005 г. //Ред. А.В.Якимов. - Нижний Новгород: ТАЛАН, 2005. С. 116-117.
5. Логинов А.А., Морозов О.А., Солдатов Е.А., Фидельман В.Р. Алгоритм нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов. // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2006, Т. XLIX, № 8. С. 704-711.
6. Логинов А.А., Солдатов Е.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Определение временной задержки ФМ сигналов методом адаптивной цифровой фильтрации. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, выпуск VIII - 1. М.: 2006. С. 32-35.
7. Логинов А.А., Морозов О.А., Сорохтин Е.М., Сорохтин М.М. Определение порога принятия решения на основе критерия Неймана-Пирсона для модуля определения временных задержек сигналов. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, выпуск VIII - 1. М.: 2006. С. 335-337.
8. Логинов А.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Адаптивный алгоритм нелинейной цифровой фильтрации в задаче определения временной задержки сигналов с фазовой и частотной манипуляцией. // Тр. (десятой) научной конференции по радиофизике, посвященной 90-летию ННГУ и 100-летию со дня рождения Г.С.Горелика. 5 мая 2006 г. //Ред. А.В.Якимов. - Нижний Новгород: ТАЛАН, 2006.
9. Логинов А.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Алгоритм квадратичной фильтрации сигналов с фазовой манипуляцией. // Тез. докл. двенадцатой международной научно-технической конференции студентов и

- аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: 2006. Т. 1. С. 56-58.
10. Логинов А.А., Морозов О.А., Солдатов Е.А., Хмелев С.Л. Комбинированная цифровая фильтрация гармонического заполнения ФМ сигналов в задаче определения временной задержки. // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2007. Т. L, № 3. С. 255-264.
 11. Логинов А.А. Определение временной задержки частотно-манипулированных сигналов методом цифровой фильтрации на основе подхода минимальной дисперсии. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, выпуск IX – 1. М.: 2007. С. 226-229.
 12. Логинов А.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р., Хмелев С.Л., Алгоритм двухступенчатой нелинейной цифровой фильтрации сигналов с частотной манипуляцией. // Тез. докл. тринадцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: 2007. Т. 1. С. 64-66.
 13. Логинов А.А., Хмелев С.Л. Метод синтеза информационно-оптимальных фильтров на основе модификации подхода Кейпона. // Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 90-летию НГТУ «Информационные системы и технологии». – Нижний Новгород.: 2007. С. 35-36.
 14. Логинов А.А., Морозов О.А., Сорохтин Е.М., Хмелев С.Л. Реализация нелинейного алгоритма демодуляции частотно-манипулированных сигналов. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, выпуск IX - 2. М.: 2007 . С. 226-229.
 15. Сорохтин Е.М., Морозов О.А., Логинов А.А., Виноградов А.А. Демодуляция частотно-манипулированных сигналов методом нелинейной фильтрации. // Тез. докл. всероссийской научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». – Нижний Новгород.: 2007 С. 34.

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение

Глава 1. Задачи обнаружения и оценки параметров сигналов (литературный обзор)

- 1.1. Оптимальная фильтрация в задачах обнаружения сигнала
- 1.2. Оптимальная фильтрация в задачах оценки параметров сигналов
- 1.3. Принципы синтеза цифровых фильтров
- 1.4. Заключение

Глава 2. Применение теоретико-информационного подхода к решению задач оптимальной фильтрации и оценки временной задержки сигналов

- 2.1. Введение
- 2.2. Решение плохо обусловленных систем линейных уравнений вариационными методами с использованием информационных функционалов
- 2.3. Проблема расширения набора данных
- 2.4. О свойствах информационных функционалов Шеннона и Берга
- 2.5. Обработка фазоманипулированных сигналов избыточным линейным фильтром в задаче определения временной задержки
- 2.6. Результаты и обсуждение

Глава 3. Алгоритм нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов

- 3.1. Постановка задачи
- 3.2. Метод квадратичной фильтрации сигналов
- 3.3. Алгоритм нелинейной цифровой фильтрации гармонического заполнения сигналов
- 3.4. Замечания по программной реализации алгоритма
- 3.5. Моделирование алгоритма определения временной задержки в условиях доплеровского смещения несущей частоты. Влияние аддитивного шума
- 3.6. Результаты и обсуждение

Глава 4. Комбинированная цифровая фильтрация гармонического заполнения ФМ сигналов в задаче определения временной задержки

- 4.1. Постановка задачи
- 4.2. Получение комплексного представления сигналов на основе линейной фильтрации
- 4.3. Фильтрация гармонического заполнения сигналов
- 4.4. Замечания по программной реализации алгоритма
- 4.5. Моделирование алгоритма определения временной задержки в условиях доплеровского смещения несущей частоты
- 4.6. Результаты и обсуждение

Заключение

Литература

Приложения