

На правах рукописи

СОРОХТИН Михаил Михайлович

**АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ФМ-СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ
ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ПАКЕТОВ**

01.04.03 – Радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Н. Новгород, 2008 г.

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

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
доцент О.А. Морозов

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

доктор технических наук,
профессор А.Д. Плужников

Ведущая организация: Институт прикладной физики
Российской академии наук
(ИПФ РАН), Н. Новгород

Защита состоится “_____” _____ 2008 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. __, ауд. _____.

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

Автореферат разослан “_____” _____ 2008 г.

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

Черепенников В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность темы

Задача обнаружения сигналов на фоне помех остается одной из важнейших задач цифровой обработки сигналов и является актуальной во многих прикладных областях. Проблема эффективного анализа и определения характеристик сигналов, в том числе и априорно неизвестных, в присутствии помех различной природы на сегодняшний день представляет собой не только одно из важнейших направлений исследований теории обнаружения сигналов, но и область активных разработок для многочисленных технических приложений. Различные критерии при проектировании оптимальных устройств обработки сигналов, а также различный характер помех обусловили большое число применяемых для решения данных задач подходов. Для решения многих теоретических и практических задач обработки сигналов в присутствии помех фундаментальное значение имеют работы Д.В. Агеева, П.С. Акимова, Л.С. Гуткина, В.А. Котельникова, Б.Р. Левина, Ю.С. Лёзина, Ю.Г. Сосулина, В.И. Тихонова, Н. Винера, Б. Гоулда, А. Оппенгейма, Л. Рабинера и многих других ученых. Вместе с тем, современный уровень развития техники передачи и обработки сигналов не только ставит новые задачи анализа сложных широкополосных сигналов, но и предоставляет высокопроизводительные схемотехнические решения, позволяющие реализовывать вычислительно ёмкие алгоритмы на компактных, высокотехнологичных встраиваемых вычислительных системах.

В работе основное внимание уделено двум подзадачам теории обнаружения сигналов – обнаружение сигнала с неизвестными параметрами, на присутствие которого указывают наличие модуляции и уникальной передаваемой последовательности символов, и обнаружение сигнала с известными параметрами на фоне сильных шумов, принимаемого с нелинейными искажениями.

Обе эти подзадачи являются актуальными во многих приложениях.

Обнаружение сигнала с неизвестными параметрами является основной задачей в таких применениях, как связь с космическими объектами, где влияние атмосферы, эффекта Доплера, широкополосного кодирования и низкое отношение сигнал/шум при приеме приводят к сильным искажениям сигнала.

Вторая задача, связанная с обнаружением сигнала с известными параметрами на фоне шумов, является актуальной во многих областях прикладной науки – медицинской и технической диагностике, радиолокации, радионавигации, отслеживании перемещений грузов, юстировке космических объектов и многих других. Важной составной частью данной задачи является разработка методов определения взаимной временной задержки между сигналами, распространяющимися по различным каналам.

На сегодняшний день общего подхода к определению взаимной временной задержки не существует. В ряде применений для решения задачи традиционно используют сигналы с хорошими корреляционными свойствами, например коды Баркера или М-последовательности, и специальные методы обработки, позволяющие повысить отношение сигнал/шум и в ряде случаев уменьшить объем обрабатываемой информации. Оценку временной задержки в задачах определения местоположения источника излучения обычно проводят на основе методов оптимальной (согласованной) фильтрации.

Интенсивное использование современных многоканальных цифровых систем связи с временным разделением каналов приводит к необходимости применения специфических методов обработки сигналов, во многих случаях представляющих собой короткие информационные пакеты с фазовой или частотной манипуляцией в присутствии шумов. Наличие сильных аддитивных и мультипликативных шумов различной природы ограничивает возможность применения традиционных подходов и обуславливает актуальность разработки новых методов решения подобных задач. Основными причинами, усложняющими реализацию алгоритма оценки временной задержки, как правило, являются: низкое (до 0 дБ и ниже) отношение сигнал/шум на входе приемника и влияние относительного движения источника и приемника излучения, которое приводит к смещению оценки временного сдвига. 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 данных, а также время выполнения в соответствии с аппаратными возможностями выбранной для практического применения вычислительной системы.

Цель диссертации

Целью диссертационной работы является разработка цифровых алгоритмов обнаружения и определения параметров сигналов, содержащих короткие 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, знания несущей частоты. 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 обнаружения и декодирования ФМ-сигналов предложены оригинальные адаптивные алгоритмы подстройки фазы и временной автоподстройки.

Для решения задачи определения временного сдвига между каналами распространения сигнала в диссертационной работе предложен новый алгоритм на основе вычислительно эффективной модификации метода нелинейного спектрального оценивания при реализации метода функции неопределенности.

Практическая значимость работы

Использование коротких информационных пакетов при передаче информации в условиях неуверенного приема или интенсивного воздействия помех, а также при передаче по каналу с использованием широкополосного кодирования, диктует необходимость разработки алгоритмов обнаружения, декодирования и определения параметров сигналов, адаптирующихся к специфической шумовой ситуации. Недостатком ряда известных алгоритмов демодуляции ФМ-сигналов являются трудности при их применении к многопозиционным видам фазовой манипуляции.

При решении задачи определения взаимной временной задержки сигналов методом вычисления функции неопределенности для обеспечения требуемой точности оценки необходимо обрабатывать большие объемы данных. При аппаратной реализации это приводит к увеличению требований к объему памяти вычислительной системы и ее высокой производительности, достаточной для выполнения вычислений в режиме реального времени.

В диссертационной работе предложен адаптивный масштабируемый алгоритм обнаружения и декодирования ФМ-сигналов, устойчивый к влиянию аддитивных и мультипликативных шумов. В работе предложен алгоритм определения временной задержки сигналов на основе модификации метода вычисления функции неопределенности, значительно сокращающий объем требуемых вычислений и дающий выигрыш в эффективности при работе с короткими сигналами.

Основные положения, выносимые на защиту

- цифровой алгоритм обработки сигнала, предназначенный для обнаружения пакетов с многопозиционной фазовой манипуляцией, включающий в себя:
 - алгоритм адаптивной подстройки фазы для демодуляции и восстановления модулирующей последовательности многопозиционных ФМ-сигналов в условиях фазового шума и девиации несущей частоты;
 - адаптивный алгоритм временной автоподстройки для обнаружения начала и окончания модулированного сигнала, определения частоты передачи символов и поддержания символьной синхронизации для правильного декодирования без «вставок» и «выпадения» символов в условиях нестабильности частоты передачи;

- результаты моделирования и исследования устойчивости работы алгоритма обнаружения и декодирования ФМ-сигналов по отношению к уровню аддитивных и мультипликативных шумов;
- алгоритм определения временного и частотного сдвига между реализациями ФМ-сигнала, принятыми по разным каналам, обладающим различными параметрами, на основе модификации метода функции неопределенности с уменьшением объема вычислений и введением нелинейной спектральной обработки итерационным методом;
- результаты моделирования устойчивости работы алгоритмов определения временной задержки на основе нелинейного спектрального оценивания в условиях аддитивных и мультипликативных шумов различного уровня.

Апробация результатов и публикации

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на всероссийской научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». Нижний Новгород, НГТУ, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 гг;
- на V, VI, VII, VIII и IX международных конференциях «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Москва, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 гг;
- на II межрегиональной конференции «Новейшие информационные технологии – инструмент повышения эффективности управления». Н.Новгород, 2002 г;
- на X и XII международных научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика». Москва, 2004, 2006 гг;
- на VIII, IX, X, XI и XII научных конференциях по радиофизике. Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 гг;

и были опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК:

- «Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского». Серия «Инновации в образовании», 2002, серия «Радиофизика», 2004 и серия «Физика твердого тела», 2005;
- «Радиотехника и электроника», 2007;
- «Известия ВУЗов. Радиофизика», 2007.

Личный вклад автора

Основные результаты диссертационной работы получены автором лично.

Автору принадлежит адаптивный алгоритм обнаружения и декодирования фазоманипулированных сигналов на основе анализа фазы, алгоритм оценивания временного сдвига между сигналами, принятыми по каналам с различными параметрами на основе модификации метода функции неопределенности, практическая реализация и идея применения вычислительно эффективной реализации нелинейного спектрального преобразования по методу максимальной энтропии при вычислении функции неопределенности. Выбор направления исследований, постановка задач и обсуждение полученных результатов проводилось совместно с научным руководителем – доцентом кафедры ИТФИ физического факультета ННГУ Морозовым О.А. и заведующим кафедрой ИТФИ, профессором Фидельманом В.Р. Аналитические и численные расчеты, реализация и модельное программное обеспечение предложенных алгоритмов выполнены лично автором.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений. Общий объем диссертации составляет 132 страницы, включая 61 рисунок и список литературы из 116 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность работы, формулируются ее цели, кратко излагается содержание диссертационной работы и 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» и функции неопределенности, также связанные с ними алгоритмы, традиционно применяемые для решения задач обнаружения и определения временной задержки сигналов при многоканальном распространении в условиях неточного знания несущей частоты. Рассмотрены непараметрические методы обнаружения сигналов, основанные на подсчете нуль-пересечений и прочих статистик. 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.

Во **второй** главе проводится обзор характеристик сигналов ограниченной длины с неизвестными параметрами, типично используемых в многоканальных системах связи, и обосновывается необходимость разработки специфического алгоритма для обнаружения таких сигналов.

В п. 2.1 рассмотрены алгоритмы принятия решения о приеме фазоманипулированного сигнала с неизвестными параметрами на основе анализа выборки сигнала. Предложены два алгоритма-критерия: спектральный и авторегрессионный. Спектральный критерий обнаружения основан на свойстве ФМ-сигналов с небольшой базой: основная часть энергии в спектре сигнала сосредоточена в окрестности несущей частоты, ширина окрестности зависит от скорости передачи информации. В основе авторегрессионного критерия анализ невязки, получаемой при сравнении отсчетов анализируемого сигнала с авторегрессионным предсказанием на основе модели гармонического сигнала. Предложенные решающие правила исследованы методом компьютерного моделирования, по результатам сделан вывод о возможности использования для принятия решения о приеме ФМ-сигналов с достаточно высоким уровнем шумов (отношение сигнал/шум до 0 дБ).

В п. 2.2 предложен адаптивный алгоритм обнаружения и декодирования ФМ-сигналов с неизвестными параметрами.

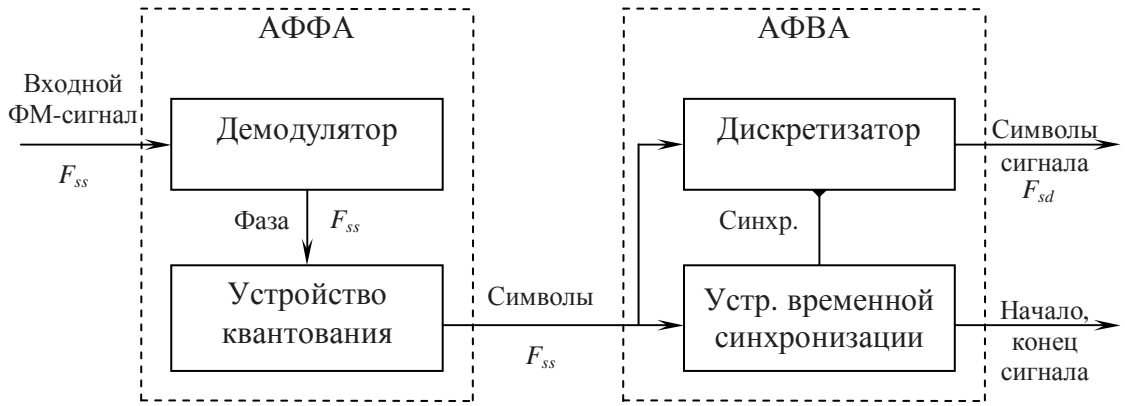


Рис. 1. Структурная схема алгоритма обнаружения и декодирования ФМ-сигналов.

Структурная схема алгоритма приведена на рис. 1.

Входной ФМ-сигнал, дискретизованный с частотой F_{ss} , подается на адаптивный фильтр фазовой автоподстройки (АФФА). Задача этого фильтра – выделить из сигнала исходную модулирующую функцию (эту обработку выполняет демодулятор, на выходе которого – последовательность отсчетов фазы с той же частотой дискретизации F_{ss}) и преобразовать фазу модулирующей функции в значения символов. Эта функция выполняется устройством квантования. На выходе АФФА получается последовательность значений символов на частоте дискретизации входного сигнала.

Принцип работы алгоритма адаптивной подстройки фазы может быть представлен как решение задачи оптимизации:

$$y_i = \arg \left\{ \min \left\{ \left| \varphi_i - \left(\alpha_i + z \cdot \frac{2\pi}{M} \right) \right| \right\} \right\}, z \in \{0, 1, \dots, M-1\}, \quad (1)$$

где i – временной индекс обрабатываемого фильтром отсчета, z – итерационный параметр, пробегающий ограниченный ряд целых последовательных значений, соответствующих разрешенным значениям фазы, M – количество разрешенных значений фазы, α_i – параметр фильтра, имеющий физический смысл дискретизованной фазы сигнала, соответствующей передаче нулевого символа. Этот параметр является для фильтра подстраиваемым:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \begin{cases} \Delta, \varphi_i > \alpha_i + y_i \cdot \frac{2\pi}{M} \\ -\Delta, \varphi_i < \alpha_i + y_i \cdot \frac{2\pi}{M} \end{cases}. \quad (2)$$

Здесь Δ – константа, имеющая смысл скорости адаптации (или степени демпфирования).

Дальнейшая обработка последовательности значений символов выполняется адаптивным фильтром временной автоподстройки. Этот фильтр

выполняет две задачи: обнаружение начала и окончания сигналов и преобразование временного ряда с выхода АФФА в последовательность информационных символов ФМ-пакета. Преобразование представляет собой передискретизацию временного ряда, следующего с частотой F_{ss} на частоту передачи символов F_{sd} . Для правильной дискретизации последовательности используется устройство временной синхронизации. В устройстве временной синхронизации производится выделение в последовательности характерных фрагментов, являющихся следствием смены значения передаваемого бита. Нахождение таких моментов позволяет синхронизировать приемник с передатчиком по времени. Для поддержания правильности декодирования схема временной синхронизации должна также поддерживать и корректировать параметры дискретизации. Кроме того, по степени периодичности моментов смены обнаруженных манипуляций устройство временной синхронизации принимает решение об обнаружении начала и окончания ФМ-сигнала, а также позволяет определить частоту передачи данных в случае, если в канале возможны сигналы с различными скоростями передачи.

В п. 2.3 изложены результаты компьютерного моделирования работы алгоритма обнаружения и декодирования ФМ-сигналов. Исследованы зависимости вероятности ошибочного принятия символа от отношения сигнал/шум для аддитивного шума при постоянном уровне фазового шума и девиации несущей частоты. Исследование выполнено для сигналов с двумя видами модуляции – ФМ2 и ФМ4. Сравнение проведено с результатами моделирования схемы Костаса. Графические результаты моделирования приведены на рис. 2. В результате сравнения выявлен выигрыш в надежности предложенного алгоритма.

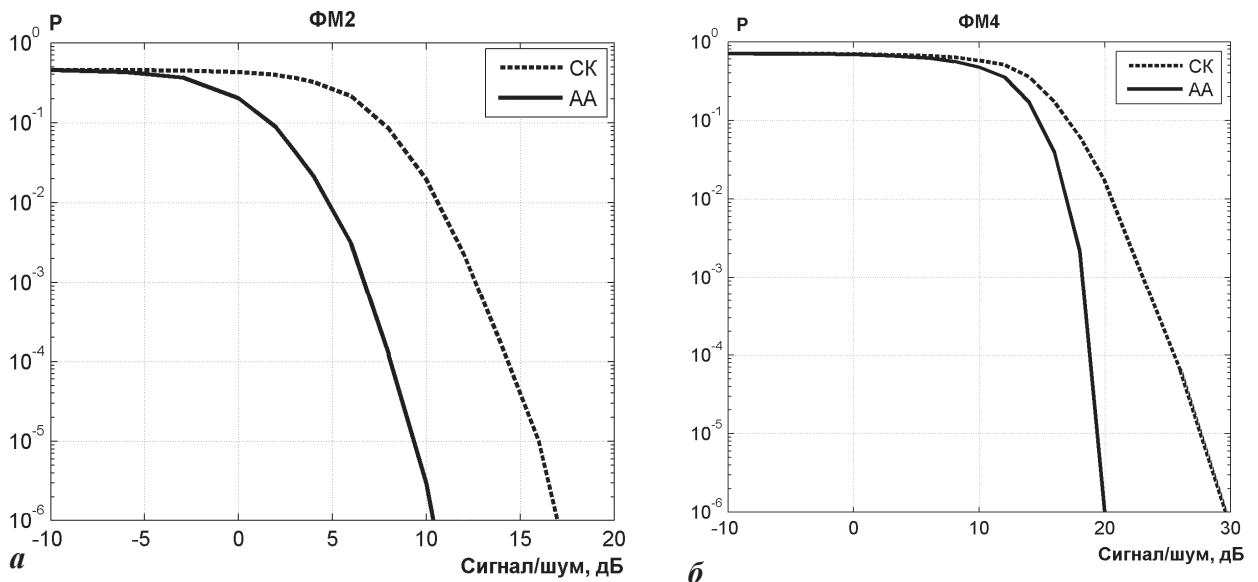


Рис. 2. Зависимость вероятности символьной ошибки от отношения сигнал/шум для модуляции ФМ2 (а) и ФМ4 (б). СК – схема Костаса, АА – адаптивный алгоритм.

В п. 2.4 сформулированы выводы ко второй главе.

Третья глава посвящена решению задачи обнаружения и определения параметров сигналов, представляющих короткие информационные пакеты, в канале с нелинейными искажениями и сильными шумами. Предложен алгоритм определения временного и частотного сдвига между каналами распространения сигнала (опорным и исследуемым) на основе модифицированного метода функции неопределенности Вудворда.

В п. 3.1 предложен вычислительно эффективный алгоритм построения сечения функции неопределенности с децимацией. На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма.

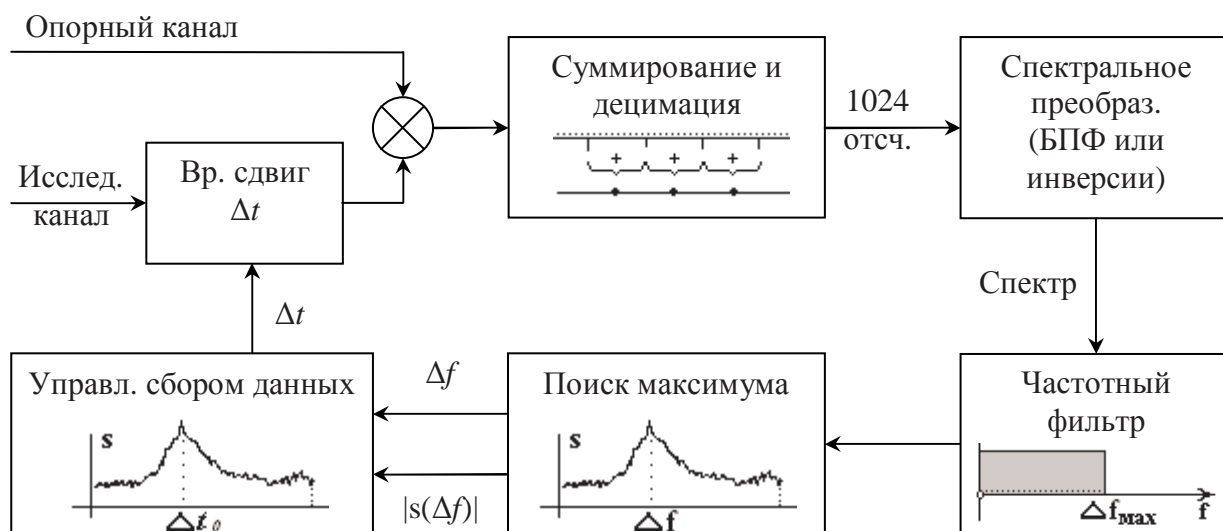


Рис. 3. Блок-схема алгоритма построения сечения тела неопределенности.

Вместо полного вычисления функции неопределенности на интервале поиска сигнала предлагается переход к построению сечения: при каждом значении временного сдвига $\Delta t = \Delta t_1$, определяется максимальное значение в спектре произведения выборок опорного и исследуемого каналов и соответствующая ему частота, в результате перебора значений временного сдвига получается сечение функции неопределенности. Результат перемножения выборок прореживается путем усреднения отсчетов по неперекрывающимся сегментам и передискретизации с более низкой частотой. В результате прореживания выборка приводится к постоянной длине 1024 отсчета. Независимость длины выборки, подвергаемой спектральному анализу, от длины исходных сигналов является важной характеристикой при реализации данного алгоритма на встраиваемых вычислительных системах. Использование децимации уменьшает объем необходимых вычислений и памяти, а также повышает устойчивость алгоритма к воздействию помех за счет фильтрации.

В п. 3.2 предлагается модификация процедуры построения сечения функции неопределенности с использованием вычислительно эффективной реализации нелинейного спектрального оценивания по методу максимума энтропии.

В основе алгоритма определения временного и частотного сдвига лежит спектральное преобразование. В контексте данной задачи использование традиционных линейных алгоритмов спектрального оценивания (БПФ) является наиболее простым для технической реализации, но накладывает ограничения на эффективность обнаружения. Данные ограничения могут быть устранены путем использования нелинейных методов спектрального оценивания, позволяющих получать более высокое частотное разрешение при обработке коротких сигналов.

Метод максимума энтропии является одним из информационно-оптимальных методов анализа в условиях недостатка данных, в котором для выбора возможного решения задачи априорная информация используется в сочетании с вариационным принципом. Однако практическая реализация метода максимума энтропии сводится к медленно сходящейся процедуре многомерной оптимизации. В работе предлагается использовать нелинейный метод спектрального анализа, основанный на аналитической аппроксимации решения по принципу максимума энтропии и получении множителей Лагранжа в явном виде, называемый в работе преобразованием инверсии. Метод позволяет свести количество операций к фиксированному значению и получить решение, обладающее достоинствами нелинейных спектральных оценок.

Аналитическое выражение для спектральной оценки по методу максимума энтропии Шеннона при линейных автокорреляционных ограничениях в матричной форме имеет следующий вид:

$$\mathbf{P} = \exp(-\mathbf{E}\lambda), \mathbf{E}_{nk} = \exp(2\pi i k \mathbf{f}_n), \quad (3)$$

где \mathbf{P} – вектор отсчетов оценки СПМ, λ – вектор неопределенных множителей Лагранжа, при традиционном подходе получаемый решением вариационной задачи, \mathbf{f} – вектор частот спектра.

При использовании преобразования инверсии вектор множителей Лагранжа получается в явном виде:

$$\lambda = -\mathbf{E}^+ \ln((\mathbf{E}^T)^+ \mathbf{R}), \quad (4)$$

где \mathbf{R} – вектор-столбец отсчетов автокорреляционной последовательности, \mathbf{E}^+ – эрмитово-сопряженная матрица комплексных экспонент.

В п. 3.3 приводятся результаты компьютерного моделирования работы предложенного алгоритма определения временного сдвига. Моделирование произведено как для алгоритма на основе линейного спектрального оценивания, так и для нелинейного и состояло в получении зависимостей правильного определения временного сдвига от уровня аддитивных и мультипликативных шумов для сигналов с модуляциями ФМ2 и ФМ4 различной длины. На рис. 4 приведены полученные зависимости для сигналов длиной 40 символов. В результате сравнения полученных

результатов выяснено, что для коротких сигналов в достаточно сильных шумах нелинейный алгоритм дает выигрыш в надежности обнаружения.

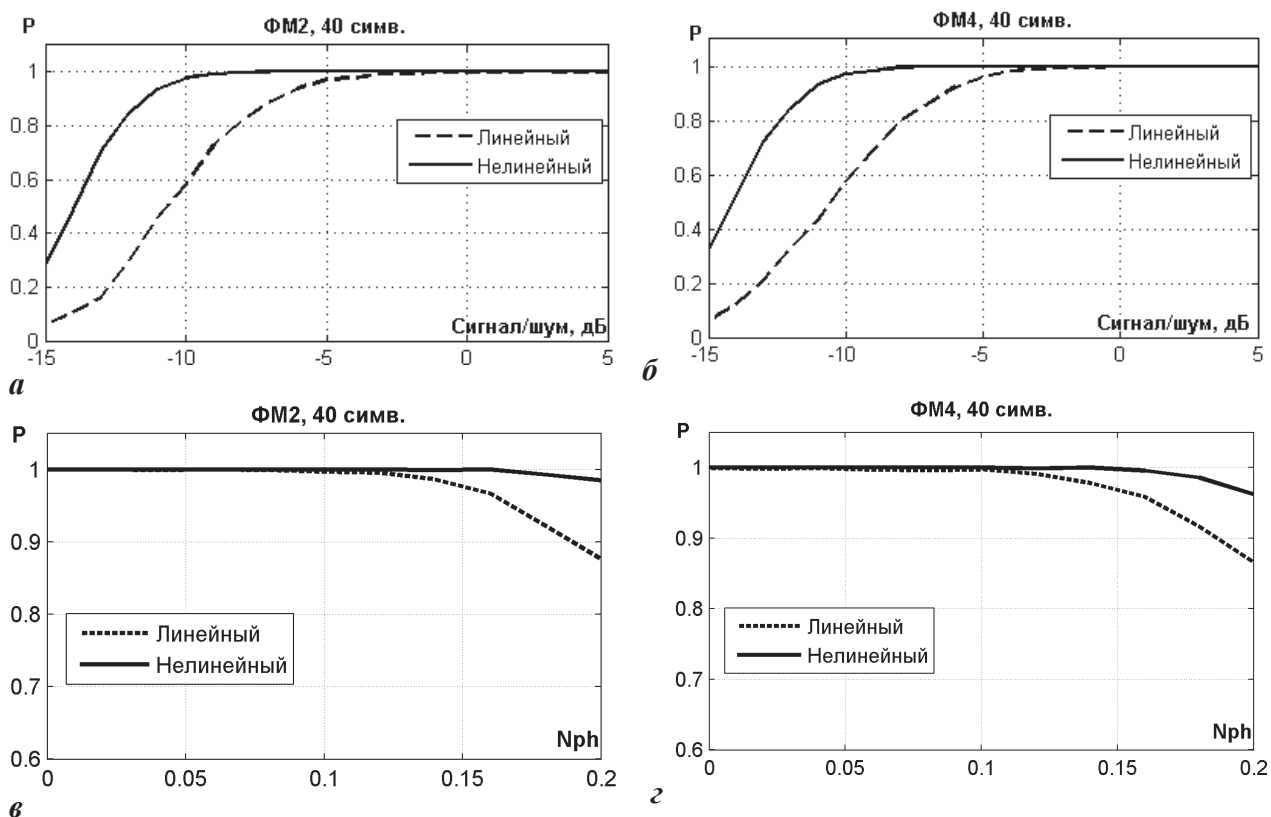


Рис. 4. Зависимость вероятности правильного обнаружения сигналов:
a - ФМ2, *б* – ФМ4 от отношения сигнал/шум для аддитивного шума;
в- ФМ2, *г* – ФМ4 от уровня мультипликативных шумов.

Предложенные алгоритмы обнаружения и определения временного сдвига реализованы с использованием встраиваемых вычислительных систем, результаты исследования характеристик обнаружения реальных сигналов достаточно хорошо согласуются с модельными.

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

В *приложении 1* приводится описание нескольких часто используемых схем демодуляции ФМ-сигналов.

В *приложении 2* приводится описание аппаратной реализации предлагаемых в данной работе цифровых алгоритмов обнаружения сигналов и определения временного и частотного сдвига. Приводятся архитектура аппаратно-программного комплекса, сведения об использованных встраиваемых вычислительных системах и краткие технические данные.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

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

- разработан алгоритм обнаружения и декодирования фазоманипулированных сигналов, включающий в себя следующее:
 - адаптивный алгоритм фазовой автоподстройки для демодуляции многопозиционных фазоманипулированных сигналов в условиях фазовых шумов и девиации несущей частоты;
 - адаптивный алгоритм временной автоподстройки для принятия решения об обнаружении сигнала с фазовой манипуляцией и поддержания символьной синхронизации в условиях нестабильности частоты передачи;
- алгоритм обнаружения и декодирования исследован методами математического моделирования; произведено сравнительное моделирование алгоритма для сигналов с модуляцией ФМ2 и ФМ4 и проанализирована зависимость вероятности ошибочного принятия символа от отношения сигнал/шум; в качестве эталона для сравнения использован метод на основе схемы Костаса;
- предложена модификация метода функции неопределенности Вудворда для решения задачи определения временного и частотного сдвига между реализациями сигнала, прошедшими по каналам с различными параметрами, из которых один содержит сильные аддитивные и мультипликативные шумы и может сопровождаться различными мешающими факторами, такими как смещение и масштабирование спектра в результате влияния эффекта Доплера. В работе предложены следующие модификации:
 - переход от полного вычисления функции неопределенности во всем интервале временных и частотных сдвигов к построению сечения позволяет многократно уменьшить требуемый для решения задачи объем вычислений без потери точности;
 - введение децимации с приведением длины выборки к стандартному постоянному значению позволяет уменьшить объем вычислений для спектрального преобразования и зафиксировать требования к объему памяти, необходимому для вычислений на встроженных системах, а также увеличить помехозащищенность алгоритма за счет частичной неявной фильтрации шума;

- использование нелинейного спектрального оценивания при вычислении функции неопределенности позволяет достигнуть большего разрешения при компенсации частотного сдвига при обработке сигналов коротких информационных пакетов;
- предложенный алгоритм определения временного и частотного сдвига исследован методами математического моделирования; моделирование производилось для сравнения линейного и нелинейного алгоритмов на сигналах с модуляцией ФМ2 и ФМ4 различной длительности, для различных значений уровня аддитивных и мультипликативных шумов; по результатам сделан вывод об обоснованности применения нелинейной модификации для сигналов с ограниченным объемом информации на фоне достаточно сильного шума (отношение сигнал/шум меньше 0 дБ).

Предложенные алгоритмы позволяют повысить надежность обнаружения коротких сигналов систем связи на фоне аддитивных и мультипликативных помех, снижают требования по объему вычислений и памяти, необходимых для определения параметров распространения и за счет нелинейной обработки позволяют получить более точные оценки частотного сдвига. Разработанные алгоритмы допускают эффективную реализацию на базе встраиваемых вычислительных систем.

СПИСОК РАБОТ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Применение сигнальных процессоров (DSP) для задач авторегрессионного и спектрального оценивания сигналов. // Межвузовский сборник научных трудов «Радиоэлектронные и телекоммуникационные системы и устройства». Выпуск 7. Н.Новгород.:2001. С. 92-96.
2. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Алгоритмы обнаружения в реальном времени фазоманипулированных сигналов для реализации на цифровых сигнальных процессорах (DSP). // Вестник ННГУ. Серия «Инновации в образовании». Выпуск 1(3). ННГУ.:2002. С. 62-65.
3. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Реализация алгоритмов обнаружения фазоманипулированных сигналов на цифровом сигнальном процессоре. // Сб. тр. 5-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA-2003». Том 2. С. 556-558.
4. Сорохтин М.М., Морозов О.А. Обнаружение и декодирование фазоманипулированных сигналов на фоне фазовых и амплитудных шумов. // Сб. тр. IX-й международной научно-технической конференции «Радиолокация. Навигация. Связь - 2003». Воронеж.:2003. Том 1. С. 116-122.
5. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Логинов А.А., Фидельман В.Р. Адаптивный алгоритм анализа фазы для обнаружения и декодирования ФМ-сигналов. // 6-я международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Доклады. М.:2004. Т. 1. С. 159-161.
6. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Логинов А.А. Метод обнаружения и анализа ФМ-сигналов на основе адаптивной обработки. // Сб. тр. X-й международной научно-технической конференции «Радиолокация. Навигация. Связь - 2004». Воронеж.:2004 г.
7. Сорохтин М.М., Морозов О.А. Адаптивный цифровой алгоритм анализа фазы для приема и декодирования сигналов с фазовой и частотной манипуляцией. // Тр. восьмой научной конференции по радиофизике, посвященной 80-летию со дня рождения Б.Н. Гершмана. 7 мая 2004. Н.Новгород.:2004. С. 106-107.
8. Сорохтин М.М., Сорохтин Е.М., Морозов О.А. Аппаратная реализация алгоритма поиска сигнала на фоне шумов методом построения тела неопределенности. // Тр. РНТОРЭС имени А. С. Попова. Серия Цифровая обработка сигналов и ее применение. Выпуск VII-2. Москва, 2005 г., с. 409-412.
9. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Логинов А.А. Адаптивный цифровой алгоритм анализа фазы для приема и декодирования сигналов с

- фазовой и частотной манипуляцией. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Радиофизика». Выпуск 1(2). ННГУ.:2004. С. 105-110.
10. Сорохтин М.М., Сорохтин Е.М. Реализация алгоритма обнаружения сигнала методом построения тела неопределенности на базе ЦСП и ПЛИС. // Информационные системы и технологии ИСТ-2005. Тез. докл. всероссийской научно-технической конференции, посвященной 60-летию победы в Великой Отечественной войне и 110-летию изобретения радио Поповым. Н.Новгород.:2005. С. 127-128.
 11. Логинов А.А., Морозов О.А., Сорохтин Е.М., Сорохтин М.М. Реализация алгоритма поиска сигнала заданной формы на фоне шумов. // Вестник Нижегородского Университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Физика твердого тела». Выпуск 1(8). ННГУ.:2005. С. 141-145.
 12. Сорохтин М.М., Сорохтин Е.М., Морозов О.А. Использование нелинейного спектрального оценивания в задаче исследования многоканального распространения сигналов. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Выпуск VIII-1. М.:2006. С. 330-334.
 13. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Логинов А.А., Фидельман В.Р. Адаптивный алгоритм анализа фазы для обнаружения и декодирования ФМ-сигналов. // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. С. 563-567.
 14. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Виноградов А.А. Детектор ФМ-сигналов на основе алгоритмов фазовой и временной автоподстройки для встраиваемых реализаций. // Тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Выпуск IX-1. М.:2007. С. 229-232.
 15. Сорохтин М.М., Морозов О.А., Сорохтин Е.М. Обнаружение и оценивание параметров ФМ-сигналов при многоканальном распространении. // Тр. (девятой) научной конференции по радиофизике «Факультет – ровестник победы» 7 мая 2005 г. С. 122-123.
 16. Сорохтин М.М., Сорохтин Е.М., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Определение параметров многоканального распространения сигнала на основе нелинейной модификации метода функции неопределенности. // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2007. Т. 50. № 4. С. 357-363.
 17. Сорохтин М.М. Алгоритмы обнаружения и определения временного сдвига сигналов коротких информационных пакетов с фазовой манипуляцией // Тр. XII научной конференции по радиофизике (Н. Новгород, 7 мая 2008 г.).

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение

Глава 1. Методы оптимального обнаружения и оценивания параметров сигналов

- 1.1. Современные методы оптимального обнаружения
- 1.2. Синтез оптимальных методов приема сигналов
- 1.3. Алгоритмы детектирования сигналов на основе отношения правдоподобия
- 1.4. Оптимальная обработка в задачах оценки параметров сигналов
- 1.5. Адаптивные алгоритмы в задачах обработки сигналов
- 1.6. Выводы

Глава 2. Алгоритм обнаружения ФМ-сигналов на основе анализа фазы

- 2.1. Методы обнаружения сигналов на основе анализа выборки
- 2.2. Адаптивный алгоритм обнаружения ФМ-сигналов на основе анализа фазовой траектории
- 2.3. Результаты математического моделирования работы алгоритмов обнаружения сигналов на основе анализа фазы
- 2.4. Выводы

Глава 3. Оценка временного и частотного сдвига ФМ-сигналов ограниченной длины

- 3.1. Модификация метода функции неопределенности для определения временного и частотного сдвига
- 3.2. Использование нелинейного спектрального преобразования инверсии при получении функции неопределенности
- 3.3. Математическое моделирование работы алгоритма определения временного сдвига
- 3.4. Выводы

Заключение

Литература

Приложение 1. Существующие схемы демодуляции ФМ-сигналов

Приложение 2. Аппаратная реализация разработанных алгоритмов