

О Т З Ы В

официального оппонента,

доктора технических наук Абрамова Сергея Степановича

на диссертацию **Хайло Никиты Сергеевича**

на тему: «Робастные алгоритмы обнаружения, синхронизации и демодуляции для TDMA-систем связи при многолучевом распространении сигналов, действии узкополосных импульсных помех и шумов с неизвестным распределением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы

Технология множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA) широко применяется в различных системах связи. Она особенно актуальна для систем передачи данных специального назначения, действующих в сложной помеховой обстановке. В реальных условиях серьезными проблемами для таких систем являются многолучевое распространение сигнала, априорная неопределенность распределений шумовой составляющей, наличие помех от сторонних радиотехнических систем. Решению этих проблем посвящено большое число работ. Наряду с аппаратными методами решения, большую роль играют применение специальных методов обработки сигналов. Однако большая часть предлагаемых решений касается стационарных систем, имеющих возможность оценить состояние канала передачи, определить источники помех и соответствующим образом организовать передачу и прием данных. Для подвижных систем при работе в условиях быстро меняющейся обстановки и жестких требований к скорости и объему передаваемых данных задача существенно усложняется и до сих пор далека до окончательного решения. В связи с этим тема диссертационного исследования Н.С. Хайло является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В ходе решения поставленных в диссертационном исследовании задач Н.С. Хайло корректно и обоснованно использует аппарат теории вероятностей, математической статистики, статистической радиотехники и теории связи, цифровой обработки сигналов и математического моделирования. Удачным является при разработке алгоритмов обнаружения и оценки временного положения синхросигнала применение гибридного подхода, сочетающего обработку сигнала во временной и частотной областях, позволяющего реализовать быстродействующий многоканальный коррелятор. Для преодоления априорной неопределенности сигнала и шума при синтезе алгоритмов обнаружения и оценки временного положения синхросигнала им использован современный подход, основанный на расширенной

модели приближенно финитных распределений, позволяющий обеспечить робастность алгоритмов и устойчивость их к изменению не только параметров, но и вида распределений шума. Предложенная количественная мера оценки степени робастности алгоритмов в виде коэффициента асимптотической робастности позволяет на этапе разработки оценить эффективность алгоритма при изменении вида распределения наблюдаемой выборки. Для борьбы с узкополосными импульсными помехами предложен оригинальный метод адаптивной режекции помехи, сочетающий определение полосы частот, занимаемой помехой с последующим обнулением всех компонентов спектра принимаемого сигнала в этой полосе при условии, что уровень помехи превысит заданный порог. Эффективность данного подхода обоснована результатами моделирования. Для исключения возможных ошибок при определении временного положения синхросигнала сигнала, возникающих вследствие многолучевого распространения сигнала, из принятой реализации выбирается отклик канала коррелятора, соответствующего сигналу, пришедшему по лучу прямого распространения. Такой подход физически обоснован, его эффективность доказана моделированием различных ситуаций на ЭВМ.

Автор подробно обосновывает выбор формата, синхронизирующего и информационного сигналов. Показана эффективность использования технологии прямого расширения спектра и относительной фазовой модуляции (ОФМ) информационного сигнала. Применение ОФМ обусловлено отсутствием информации о начальной фазе сигнала на приемной стороне. При разработке алгоритма демодуляции сигналов с ОФМ для ослабления негативного влияния многолучевого распространения сигнала применено использование уникальной расширяющей последовательности для каждого символа информационного сигнала, что обеспечивает декорреляцию сигналов, пришедших по различным каналам распространения. В остальном для обеспечения робастности и устойчивости к воздействию узкополосных импульсных помех автором использован тот же подход, что и при синтезе алгоритма обнаружения и оценке временного положения синхросигнала, эффективность подхода подтверждается результатами имитационного моделирования. Кроме того, достоверность и обоснованность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается результатами внедрения в реальную разработку.

Таким образом, научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, представляются достаточно обоснованными.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертации Н.С. Хайло приведена оценка реализуемости разработанных алгоритмов в реальном масштабе времени. Достоверность реализуемости подтверждена реальным воплощением алгоритмов в экспериментальном образце модуля DME/ШПС модернизированной радиотехнической системы ближней навигации, созданной в АО «Навигатор», что подтверждено актом внедрения.

Предложенные Н.С. Хайло асимптотически робастные инвариантные (АРИ) алгоритмы, основанные на использовании расширенной модели приближенно финитных распределений шума, для решения задачи синхронизации и демодуляции OFM сигналов в TDMA-системах связи являются новыми. Их новизна заключается в том, что они обеспечивают более высокую помехоустойчивость в условиях многолучевого распространения сигналов, действия узкополосных импульсных помех и при изменении формы распределения шума, не требуя при этом предварительной оценки канала, помехи и характера шумовой составляющей на приемной стороне. Выигрыш предложенных алгоритмов в пороговом отношении сигнал/шум при отклонении распределения шума от гауссовского составляет величину до 4 дБ, при этом в условиях действия гауссовского шума потери составляют не более 0,3 дБ.

Проведенные в диссертации расчеты предложенного коэффициента асимптотической робастности и их сравнение с результатами имитационного моделирования работы алгоритмов при различных распределениях шума подтверждают достоверность предложенного решения. Новизна состоит в том, что степень робастности – сохранение работоспособности алгоритма при изменении формы распределения шума, выраженное в расчете требуемого значения отношения сигнал/шум для обеспечения заданных характеристик помехоустойчивости, может быть вычислена без проведения имитационного моделирования или проведения трудоемких расчетов.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Результаты диссертации представляют собой определенный вклад в развитие методов статистической теории синтеза радиотехнических систем. Разработанные алгоритмы обнаружения и оценки временного положения сигналов и демодуляции позволяют обеспечить возрастающие требования к емкости и скорости передачи данных в каналах связи. Полученные в диссертации результаты являются ощутимым вкладом в теорию алгоритмов обработки сигналов для случая, когда распределение флуктуационного шума может трансформироваться и отличаться от гауссовского, а также присутствуют мешающие отражения и узкополосные импульсные помехи.

Разработанные автором алгоритмы адаптивной режекции узкополосных помех, обнаружения и оценки временного положения синхронизирующего сигнала, а также демодуляции ОФМ сигналов позволяют создавать программное обеспечение перспективных радиотехнических систем передачи данных и обеспечивать оценивание временного положения синхронизирующего сигнала в точностью до 1 периода дискретизации в условиях действия мешающих отражений, узкополосных импульсных помех и флуктуационного шума с произвольным распределением при достаточно больших скоростях перемещения абонентов.

Апробация

Научные результаты и рекомендации практического характера, полученные Н.С. Хайло, достаточно полно отражены в тексте диссертации, которая написана ясным и технически грамотным языком и хорошо структурирована. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту, опубликованы в 16 печатных работах, в том числе 5 статей в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 10 работ в материалах международных и российских конференций и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертации

1. В работе недостаточно обоснована процедура формирования расширяющих последовательностей информационных символов из одной M-последовательности большой длины.
2. Для оценки эффективности разработанных алгоритмов в диссертации приводится сравнение только с одним из известных алгоритмов – оптимальным для приема на фоне гауссовского шума. Следовало бы рассмотреть и другие методы, направленные на решение аналогичных проблем.
3. В разделе 3.2 при реализации многоканального коррелятора автор использует процедуры прямого и обратного дискретного преобразования Фурье. Таким образом, корреляция вычисляется на основе циклического сдвига опорного вектора. Из текста работы не ясно, как учитывается наличие циклического сдвига в алгоритме оценки временного положения синхронизирующего сигнала в частотной области.
4. В работе отсутствуют данные о валидации результатов моделирования конкретными экспериментальными данными.

Приведенные замечания не снижают ценности полученных в ходе диссертационного исследования результатов.

Заключение

Диссертация Н.С. Хайло представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержит разработанные автором научные положения и рекомендации, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной задачи, имеющей значение для развития методов и алгоритмов обработки сигналов в радиотехнических устройствах и системах передачи информации при наличии помех с целью повышения их помехоустойчивости.

Содержание автореферата достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Материал диссертации изложен технически грамотным языком и хорошо редакционно отработан. Все положения, выносимые на защиту своевременно опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях.

По актуальности, новизне, уровню исследований, научной и практической ценности полученных результатов, изложению материалов, диссертация соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней (раздел II, п.п. 9 – 14), а ее автор Хайло Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры радиотехнических устройств и
техносферной безопасности ФГБОУ ВО
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Абрамов Сергей Степанович
«09» декабря 2024 г.

Подпись Абрамова С.С.
Должность *Начальник*

ФИО

Контактные сведения официального оппонента:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 630102, Сибирский федеральный округ, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Кирова, д. 86.

тел.: +7 383 269-82-02

e-mail: rectorat@sibsutis.ru

Отзыв получен 27.12.2024 А. Степанов А.А.
С отзывом ознакомлен 27.12.2024 Н.С. Хайло Н.С.