

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента Самойлова Сергея Александровича на диссертацию Никишкина Павла Борисовича «Методы и алгоритмы широкополосной передачи данных с использованием многоскоростной обработки сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы исследования. Представленная диссертационная работа посвящена разработке и исследованию методов и алгоритмов широкополосной передачи данных с использованием многоскоростной обработки сигналов. Одним из ярких примеров широкополосных сигналов является OFDM модулированный сигнал. Алгоритмы формирования подобных сигналов в качестве математической модели были предложены в 60-х годах прошлого века, но широкое аппаратное применение получили только в 90-х годах благодаря технологическому прогрессу, позволившему генерировать дискретное преобразование Фурье (ДПФ) в цифровых схемах. На сегодняшний день OFDM технология, применяется во многих системах передачи информации, а в сочетании с методами множественного входа и множественного вывода (MIMO – Multiple-Input Multiple-Output) изучаются и предлагаются в качестве одной из технологий, которые будут реализованы на физическом уровне сотовых сетей 5G. Однако технология OFDM не лишена некоторых недостатков, поэтому использование методов многоскоростной обработки сигналов частично позволяют решить данную проблему.

Одной из важных задач при обработке подобных широкополосных сигналов является снижение вычислительных затрат при реализации фильтров с конечной импульсной характеристикой, которые позволяет улучшить спектральные характеристики передаваемых сигналов.

Применение многоскоростных методов обработки широкополосных сигналов для решения подобной задачи делают тему предложенного научного исследования важной и актуальной.

Целью работы является уменьшение межсимвольной и межканальной интерференции и повышение спектральной эффективности широкополосных систем передачи данных с использованием многоскоростной обработки сигналов.

Диссертационная работа Никишкина П.Б. посвящена решению актуальной проблемы и является завершённым научным исследованием, в ходе которого был получен ряд новых научных результатов:

- произведен анализ существующих методов и алгоритмов обработки сигналов в широкополосных системах передачи данных;
- разработаны методы и алгоритмы передачи/приема данных на основе многоскоростной обработки сигналов и комбинированного подхода, сочетающего в себе технологии OFDM и FBMC (Filter Bank Multi-Carrier);
- исследована работа предлагаемых методов и алгоритмов в условиях различных мешающих воздействий;
- произведено сравнение эффективности предлагаемого метода и алгоритма передачи/приема сигналов с известными методами и алгоритмами, подготовлены рекомендации по использованию предлагаемого алгоритма передачи/приема сигналов в широкополосных системах передачи информации.

В качестве практической значимости работы можно выделить следующее:

- 1) разработанные методы и алгоритмы позволяют реализовать улучшить качество передачи широкополосных сигналов;
- 2) разработанная среда моделирования позволяет оценить эффективность разработанных алгоритмов и подобрать параметры для их практической реализации.

Оценка достоверности результатов исследования. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, являются новыми, а достоверность полученных научных и практических результатов подтверждается обоснованностью выбора исходных данных при проведении имитационного моделирования, а также соответствием полученных экспериментальных результатов и научных выводов теоретическим предположениям.

Основные результаты работы были отражены в 14 печатных работах, включающих в себя 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ, 1 статья в научно-техническом сборнике TELFOR Proceedings of Papers, публикуемом в IEEE Xplore и входящим в базы Scopus и Web Of Science, а также 8 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях и форумах, что также подтверждает достоверность результатов исследования.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций основывается на анализе и систематизации автором известных алгоритмов, используемых при сравнении с предлагаемым методом передачи/приема данных. Подробно рассмотрены структуры построения фильтров при многоскоростной обработке сигналов.

Все научные положения и выводы, содержащиеся в диссертации, основаны на применении методов цифровой обработки сигналов, математической статистики и статистической радиотехники.

Реализация результатов работы. Результаты исследований были использованы при подготовке ряда лекционных курсов, в том числе «Цифровая обработка сигналов», «Цифровая обработка сигналов и сигнальные процессоры в СПР» в Рязанском государственном радиотехническом университете им. В.Ф. Уткина

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа Никишкина П.Б. состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 70 наименований, а также приложений. Диссертация изложена на 177 страницах и включает 117 рисунков и 14 таблиц.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы исследования, формулировке цели и задач исследования, обозначены практическая ценность, достоверность и научная новизна полученных результатов. Также сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор технологии передачи данных с помощью широкополосных систем. Приведены основные параметры OFDM-сигнала, показан принцип модуляции сигналов.

Кроме того, проведён обзор основных известных алгоритмов адаптивной обработки сигналов, сделаны выводы, указаны достоинства и недостатки каждого из них и определено направление для дальнейших исследований.

Во **второй главе** рассматриваются методы и алгоритмы на основе субполосного ортогонального мультиплексирования и набора банков цифровых фильтров. Представленная технология SUB-OFDM предполагает использование узкополосных частотных диапазонов и фильтрацию каждого из них для обеспечения улучшения спектральных показателей. Таким образом, системы на основе субполосного ортогонального мультиплексирования подразумевают разделение на субканалы и фильтрацию каждого из них.

В результате такого построения системы можно применять адаптацию к характеристикам канала связи, т.е. искать и определять зоны затухания и подавления, тем самым можно управлять скоростью передачи данных, уменьшая её или увеличивая в зависимости от состояния канала. В процессе создания SUB-OFDM сигнала могут быть задействованы только те субканалы, в которых будут соблюдены требуемые характеристики передачи данных.

В главе в достаточно полной мере показаны различные методы построения банка цифровых фильтров, поскольку синтез оптимальной структуры системы широкополосной передачи данных зависит от эффективной реализации и минимизации затрат на их создание.

В **третьей главе** содержатся результаты исследования предлагаемой технологии субполосной передачи данных. Глава посвящена исследованию различных проблем и задач при помощи разработанных алгоритмов и их сравнения с результатами работы известных методов.

В главе приведены результаты ряда экспериментов с применением имитационного моделирования, и получены зависимости вероятностей ошибки от ряда параметров.

В **четвёртой главе** приведено описание разработанной в ходе диссертационного исследования имитационной модели, описаны её особенности и архитектура.

Также приведены основные алгоритмы реализации полученных алгоритмов на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), и приведен пример одного из разработанных алгоритмов на ПЛИС в условиях ограничений по разрядности представления весовых коэффициентов адаптивного узкополосного БИХ-фильтра.

В **заключении** сделаны выводы и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Приложения содержат исходные тексты разработанных алгоритмов на языках Octave и Verilog, а также копию акта об использовании материалов диссертации в учебном процессе.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Недостаточно описано отличие технологии FBMC от других рассматриваемых.
2. Таблицы и рисунки с результатами моделирования занимают значительную часть второй и третьей глав, более целесообразно было бы перенести часть из них в приложение.
3. На рисунке 3.4 не указано, при каких параметрах системы был получен тот или иной график.
4. При практической реализации на ПЛИС автор ограничился только одним из возможных вариантов реализации разработанных методов и алгоритмов.

Заключение

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решается научно-техническая задача разработки и анализа алгоритмов широкополосной передачи данных.

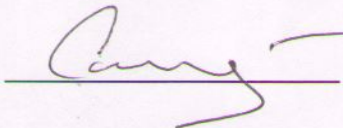
Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, основные положения и научно-технические результаты, полученные автором. Диссертация и автореферат соответствует научной специальности 2.2.13. «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Никишкин Павел Борисович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, по специальности 05.13.14 - Системы обработки информации и управления, доцент, доцент кафедры "Радиотехники и радиосистем" ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

«11» декабря 2023 г.

 С. А. Самойлов

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
600004, г. Владимир, Горького, 87, ВлГУ
Тел.: +7 (4922) 534 238.
E-mail: samoylow@rambler.ru

Подпись к.т.н., доцента Самойлова С. А. заверяю
Ученый секретарь Ученого Совета ВлГУ



Т. Г. Коннова