

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Токаря Михаила Сергеевича на тему
«Дифференциальный метод передачи сигналов для систем связи с пространственно-временным кодированием»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность диссертационного исследования

В настоящее время на рынок мобильных телекоммуникаций все более активно выходят системы многоантенной радиосвязи по технологии ММО в форме пространственно-временного блочного кодирования (ПВБК), позволяющие повысить эффективность использования радиочастотного спектра. На данный момент, увеличить пропускную способность систем связи последующих поколений предлагается увеличением ширины используемой полосы и переноса её в более высокочастотную область спектра, спектральной эффективности и скорости перемещения абонентов, а также применением неортогональных методов многопользовательского доступа NOMA, имеющих высокую вычислительную сложность. В этих, более жестких, условиях среды передачи необходимо по-прежнему обеспечить точную оценку и слежение за параметрами канала связи (для работы когерентных методов ПВБК, в том числе NOMA), что является сложной задачей в условиях городской застройки, увеличения рабочей частоты и скорости перемещения абонентов. В конечном итоге это приводит к увеличению объема передачи служебной информации (пилот-сигналы и др.) и, соответственно, к уменьшению пользовательской (полезной). К тому же, это требует усложнения методов и увеличения вычислительной сложности системы, что приведет к возрастанию энергопотребления и стоимости оборудования. Поэтому, актуальным являются не только задачи достижения высоких показателей энергетической и частотной эффективности, но и задачи обеспечения низких значений энергопотребления и стоимости. Исходя из приведенного, разработка новых методов и алгоритмов обработки, имеющих низкую вычислительную сложность, не требующих оценки импульсной характеристики канала связи и обеспечивающих повышение частотной и энергетической эффективности, является перспективным направлением дальнейшего развития систем связи.

Диссертационная работа Токаря М.С. направлена на формирование комплексного научно-технического подхода к решению задачи повышения частотной и энергетической эффективностей радиотехнических систем передачи информации при снижении вычислительной сложности системных алгоритмов в условиях быстро изменяющихся параметров радиоканала. Таким образом, актуальность и значимость темы исследования не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы

Для достижения поставленной цели работы, автором был предложен комплексный подход к решению основной задачи, корректно объединяющий новый метод дифференциального пространственно-временного блочного кодирования (ДПВБК), матричный алгоритм декодирования и алгоритм «слепой» кадровой синхронизации. Для получения численных характеристик эффективности предложенного метода ДПВБК и алгоритма «слепой» кадровой синхронизации были разработаны программные модели и проведено полноценное имитационное моделирование разработанных методов и алгоритмов, получены оценки энергетической эффективности, вычислительной сложности и времени вхождения в синхронизм.

Предложенные автором новые метод передачи и алгоритмические решения позволяют более оптимально использовать системные ресурсы и обеспечивают дополнительный энергетический выигрыш кодирования, повышение помехоустойчивости, снижение вычислительной сложности метода ДПВБК и уменьшение времени вхождения в синхронизм системы связи.

Диссертация содержит 125 страниц текста, включает в себя введение, основную часть, состоящую из четырех глав, заключение, список использованных источников из 89 наименований литературы русскоязычных и зарубежных авторов, а также четыре приложения.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель работы, задачи и направления исследований, методы исследований, научная новизна и теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе рассматриваются современные принципы построения и математического описания систем ММО, свойства радиоканалов, используемые методы и алгоритмы пространственно-временного блочного кодирования и демодуляции сигналов ПВБК. На основе детального аналитического обзора существующих решений, показана актуальность повышения показателей энергетической и частотной эффективности многоантенных систем связи, а также необходимость оптимизации методов передачи и алгоритмов обработки сигналов на основе метода дифференциального ПВБК.

Вторая глава посвящена разработке нового метода передачи ДПВБК и алгоритма матричного декодирования. Сформулированы условия применимости дифференциального пространственно-временного кодирования. Предложен новый метод и структурная схема кодера ДПВБК, построенные на принципах ФРМ. Для реализации декодера автором предложен алгоритм матричного декодирования, обладающий низкой вычислительной сложностью, основанный на разбиении Вороного и применяемый для разбиения сигнального созвездия модуляции и соотнесения принимаемых значений дифференциальных коэффициентов с их сигнальным созвездием. После чего, по таблице состояний кодера производится восстановление переданных бит.

В третьей главе разработан алгоритм «слепой» кадровой синхронизации демодулятора сигнала ДПВБК без использования механизма пилот-сигналов. Система синхронизации, исходя из количества кадров анализа, когерентно накапливает по нескольким кадровым окнам значения величин минимального расстояния между возможными значениями векторов дифференциальных коэффициентов и полученными исходя из количества кадров анализа. После этого, по минимальному значению накопленной суммы выносится решение о синхронизации. Анализ сумм накопления производится постоянно, вследствие чего происходит постоянное отслеживание наличия синхронизации, в случае пропадания которой система принимает решение о необходимости соответствующей корректировки (сдвига) кадрового окна.

Четвертая глава посвящена исследованию базовых характеристик эффективности разработанных методов и алгоритмов, которое проводилось в среде MATLAB R2017a. Автор разработал программные модули, выполнил широкий спектр имитационных исследований в условиях, адекватных реальным системам связи. Разработана программная модель метода ДПВБК, представлен сравнительный анализ помехоустойчивости и вычислительной сложности разработанных алгоритмов «слепой» кадровой синхронизации, матричного алгоритма декодирования, алгоритма ДПВБК в широком диапазоне варьируемых параметров для получения сравнительных оценок их эффективности. Результаты моделирования подтверждают способность алгоритма «слепой» кадровой синхронизации к установлению кадровой синхронизации при условии низкого отношения сигнал/шум в системе и отсутствия необходимости знания о состоянии канала связи.

В заключении представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Содержание диссертации изложено последовательно, работа грамотно структурирована, содержит хорошо оформленный иллюстративный материал, методически правильно и достаточно полно раскрывает решение поставленных научных задач. Оформление работы соответствует установленным нормам. Автореферат отражает основные положения диссертации и в полной мере раскрывает суть проведённой работы.

Научная новизна и достоверность основных выводов и результатов диссертации

1. Метод дифференциального пространственно-временного блочного кодирования, отличающийся от известных дифференциальных методов ПВБК тем, что позволяет увеличить энергетическую эффективность и снизить вычислительную сложность.

2. Алгоритм матричного декодирования для систем связи с последовательной и параллельной (ПВБК) передачей информации, в отличие от известных алгоритмов имеет меньшую вычислительную сложность, при этом, не зависящую от объема канального алфавита.

3. Алгоритм «слепой» кадровой синхронизации, отличающийся от известных алгоритмов кадровой синхронизации систем ПВБК тем, что обеспечивает снижение времени вхождения в синхронизм и вычислительной сложности.

Обоснованность и достоверность полученных автором в диссертационной работе научных и практических результатов подтверждается использованием известных положений фундаментальных наук, использованием математических моделей, адекватных реальным физическим процессам, согласованностью теоретических результатов с результатами имитационного моделирования, обсуждением результатов диссертационной работы на международных конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых журналах. Можно утверждать, что научные положения и выводы, сформулированные Токарем М.С., представляются обоснованными и достоверными.

Научная и практическая ценность работы

Совокупность результатов, полученных в процессе выполнения диссертационной работы, способствуют более глубокому пониманию физических и информационных процессов, происходящих в классе ММО систем. Предложены новые методы и алгоритмы, позволяющие обеспечить увеличение частотной и энергетической эффективности в системе, сокращение времени, необходимого для обеспечения кадровой синхронизации, и снижение вычислительной сложности декодирования для систем радиосвязи пространственно-временного блочного кодирования, использующих радиоканал с быстро меняющимися параметрами. Разработанный метод дифференциального кодирования является масштабируемым для различного сочетания количества передающих антенн и не требует высокого вычислительного ресурса при декодировании. Алгоритм матричного декодирования может быть применен для РСПИ с последовательной и параллельной (ПВБК) передачей информации, обеспечивая низкую вычислительную сложность декодирования, которая не зависит от объема канального алфавита.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные методы и алгоритмы могут быть применены при создании перспективных стандартов систем радиосвязи, в том числе для передачи служебной информации по каналам с низким отношением сигнал/шум и в условиях быстро меняющихся параметров канала ввиду высокой скорости перемещения мобильных станций. Полученные автором решения обеспечивают снижение энергопотребления прием-

ника и его стоимости. На основании проведенных исследований автором разработаны программные модели, по которым получены два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Важно отметить, что автор является квалифицированным специалистом в области разработки современной радиоэлектронной аппаратуры, а результаты его работы использованы при выполнении опытно-конструкторской работы «Системы радиосвязи», проводимой государственным унитарным предприятием связи «Центр регулирования связи» (г. Тирасполь) в 2021 году.

Отмечая несомненную научную и практическую значимость диссертационной работы, необходимо сделать ряд замечаний:

1. Автор констатирует, что метод ДПВБК может работать при высокой относительно скорости перемещения абонента. Но в работе отсутствуют оценки максимальной скорости (при соответствующих исходных данных), при которой разработанный метод применим.

2. Недостаточно полно изложен механизм формирования таблицы состояния кодера метода ДПВБК для различных вариантов количества передающих антенн и позиционности модуляции L-PSK.

3. Приводятся результаты моделирования разработанных методов и алгоритмов для случая полного разнесения между собой антенн передатчика и приемника. При этом, не отмечается как изменятся полученные результаты при наличии корреляции между антеннами.

4. В работе не рассмотрены ограничения метода ДПВБК, связанные с растяжением или сжатием сигнала во времени, обусловленным эффектом Доплера.

5. Для более четкого понимания и завершенности результатов работы, необходимо было дополнить раздел 4 сравнением вероятности срыва кадровой синхронизации (рис. 4.1, 4.2) и вероятности битовой ошибки (рис. 4.7, 4.8) при одинаковых исходных данных.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера, поэтому не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

Соответствие содержания научной специальности

Диссертация Токаря Михаила Сергеевича соответствует паспорту научной специальности 2.2.15. «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» по пунктам:

№ 4 «Разработка эффективных путей развития и совершенствования структуры, архитектуры сетей и систем телекоммуникаций, включая входящие в них элементы»;

№ 15 «Исследование и разработка новых сигналов, а также соответствующих модемов, кодеков, мультиплексоров и селекторов, обеспечивающих высокую надежность и качество обмена информацией в условиях воздействия внешних и внутренних помех»;

№ 18 «Разработка научно-технических основ создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования».

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Токаря Михаила Сергеевича «Дифференциальный метод передачи сигналов для систем связи с пространственно-временным кодированием» посвящена актуальной теме, обладает внутренним единством, написана автором самостоятельно и является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, содержащей решение важной научно-технической проблемы.

Полученные результаты достоверны и обоснованы, обладают научной новизной и практической значимостью, представлены публикациями в изданиях требуемого уровня. Апробация работы проведена в соответствии с принятыми нормами. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация Токаря М.С. полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в действующей редакции, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук, а её автор, **Токарь Михаил Сергеевич**, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Нанотехнологии в электронике», профессор кафедры «Радиоэлектронные и телекоммуникационные системы» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», доктор технических наук, доцент

Файзуллин Рашид Робертович

22 мая 2023г.


(подпись)

Контактные данные:

Телефон: +7(905) 311-26-46

Электронная почта: rfayzullin@kai.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Адрес места работы:

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10.

Телефон: +7 (905) 311-26-46

Подпись заверяется

Подпись Файзуллин Р.Р.
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля

6

