

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Покаместова Дмитрия Алексеевича «Формирование сигнальных конструкций для систем связи с множественным доступом на основе разреженных кодов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

1. Актуальность проблемы

Системы цифровой радиосвязи должны обеспечивать высокую скорость передачи и обладать гибкостью при различных сценариях своей работы. Это может быть достигнуто путем комплексной проработки структуры системы на всех уровнях. На физическом уровне систем связи должна быть организована эффективная схема модуляции и множественного доступа, обеспечивающая высокие показатели спектральной эффективности.

Диссертационная работа Д.А. Покаместова посвящена вопросам формирования и обработки сигналов для систем связи с множественным доступом на основе разреженных кодов SCMA (Sparse Code Multiple Access). SCMA – это перспективная технология, объединяющая подходы, применяемые в ортогональном частотном и кодовом разделении каналов, а также в кодировании с малой плотностью проверок на чётность. Благодаря формированию многомерных сигнальных созвездий, SCMA эффективно использует комплексную сигнальную плоскость. Открытой проблемой является достижение высокой спектральной эффективности передачи, не достаточной в современных условиях. По этой причине исследования технологии SCMA являются актуальными.

2. Общая характеристика работы

Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 111 источников, двух приложений с актами внедрения результатов и изложена на 157 страницах. Во *введении* сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, отмечена актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования. Приведены научные положения, выносимые на защиту. Описаны методы исследования, достоверность и личный вклад автора. *Первая глава* содержит описание применения разреженных кодов в системах связи, включая представление разреженных матриц, методов помехоустойчивого кодирования и кодирования с малой плотностью проверок на чётность. Приведены методы итеративного декодирования низкоплотностных кодов. Описаны методы множественного доступа с применением разреженных кодов. Также зачем-то достаточно подробно описан метод ортогонального частотного разделения каналов. *Вторая глава* посвящена алгоритмам формирования и обработки сигналов с SCMA. Рассмотрен алгоритм детектирования SCMA-символов – алгоритм передачи сообщений. Автор предлагает метод формирования сигнальных конструкций SCMA на основе разреженных кодовых книг для произвольного числа поднесущих. Описаны принципы формирования разреженных матриц и сигнальных созвездий. Проведено сравнение системы связи с SCMA и разработанными методами формирования сигнальных конструкций с существующими системами связи, в том числе сравнение с SCMA на основе кодовых книг, описанных другими авторами. В *третьей главе* рассмотрена работа системы связи с SCMA в каналах с частотными замираниями. Приведены алгоритмы оценки дисперсии шума для таких каналов и влияние ошибки оценки на вероятность битовой ошибки в системе связи. Описаны результаты имитационного моделирования передачи сигналов в различных типовых каналах связи. Приведено описание разработанного соискателем способа модификации сигнального созвездия SCMA, которое приводит к снижению вероятности битовых ошибок при неидеальной оценке АЧХ канала и дисперсии шума по сравнению с SCMA с применением известных кодовых книг. В *четвёртой главе* приведены результаты экспериментального исследования передачи сигналов с множественным доступом на основе разреженных кодов. Описан лабораторный макет и алгоритмы формирования и обработки сигналов. Сигналы формировались на основе стандартов мобильной связи четвёртого поколения LTE и WiMax, в качестве метода множественного доступа использовался SCMA. Получены зависимости вероятностей битовых ошибок от отношения сигнал шум на входе приемника для различных сценариев передачи. Полученные автором результаты подтверждают достоверность и работоспособность разработанных методов и в целом, эффективность применения технологии SCMA.

Текст автореферата соответствует диссертации. Материалы диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях и отражают основные результаты. По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 7 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, 5 работ в изданиях, индексируемых в Scopus, из которых 4 работы в изданиях, индексируемых в Web of Science, 9 работ в иных изданиях. Тематика

диссертации соответствует паспорту специальности «05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в пунктах 4, 6 и 7.

3. Оценка новизны и достоверности результатов

Научная новизна результатов работы определяется тем, что в первую очередь, предложен метод формирования кодовых книг для систем связи с SCMA, которые позволяют обеспечить связь на произвольном числе поднесущих с высокими показателями помехоустойчивости. Во-вторых, проанализированы алгоритмы детектирования и показано, что применение предложенных кодовых книг не ведёт к увеличению необходимого количества итераций и вычислительной сложности. В-третьих, разработаны алгоритмы оценки дисперсии шума на входе детектора SCMA. Для каналов с многолучевым распространением предложен способ модификации сигнального созвездия, применение которого приводит к снижению вероятности битовой ошибки.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается согласованностью моделирования с результатами экспериментального исследования, проведенного с применением калиброванной и поверенной аппаратуры.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Все научные положения являются новыми и достаточно аргументированы содержанием работы. Результаты подтверждаются применением в исследовании проверенных теоретических подходов и методов анализа. Основные численные результаты получены путем имитационного моделирования системы связи в среде Matlab. Автор рассматривал работу системы связи в классических моделях каналов, рекомендованных Международным Союзом Электросвязи.

5. Практическая значимость

Теоретическая и практическая значимость работы определяется тем, что её результаты позволяют обеспечить мультиплексирование в многоканальных системах связи с высокими показателями помехоустойчивости. Автором показано, что системы связи на основе SCMA могут иметь большую помехоустойчивость по сравнению с существующими системами связи. Результаты работы получили апробацию на российских и международных конференциях, нашли применение в производстве и в учебном процессе, при проведении натурных испытаний, что подтверждается соответствующими отчётами и актами внедрения на предприятии АО НПФ «Микран» и в учебном процессе кафедры ТОР ТУСУРа.

6. Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации внимание уделяется преимущественно системе связи с SCMA при спектральной эффективности 3 бит/с/Гц, и проводится сравнение с модуляциями QAM-8 и 8-PSK. Не понятно, почему остались без внимания кодовые книги для других параметров спектральной эффективности и не приводится сравнение с модуляциями с иными индексами (QPSK, QAM-16 и т.д.).

2. В диссертации не рассмотрено влияние ряда существенных факторов на помехоустойчивость систем связи, таких, например, как влияние разрядности АЦП/ЦАП, организованных помех. Экспериментальное исследование (гл. 3, 4) проводилось только в лабораторных условиях. Каналы связи характеризовались амплитудно-частотной характеристикой без глубоких провалов, низким затуханием, отсутствием доплеровского сдвига. Таким образом, влияние этих факторов никак не учитывалось.

3. Подробно, на 32 страницах в первой и частично второй главе изложен известный материал по помехоустойчивым системам цифровой связи, из которого непосредственно не следует основная задача исследования.

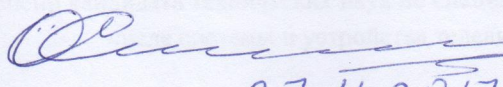
Вышеуказанные замечания не снижают в целом оценки работы и не влияют на основные выводы и практические результаты диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Д.А. Покаместова выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную самостоятельную научно-квалификационную исследовательскую работу, которая обладает научной новизной и практической ценностью в части совершенствования систем цифровой связи с улучшенными характеристиками по комплексу параметров помехоустойчивости.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент

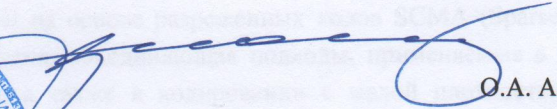

27.11.2017

Стукач Олег Владимирович

доктор технических наук, профессор кафедры
Систем управления и мехатроники
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
пр. Ленина, 30, г. Томск, 634050.
Т./ф.: 3822-701777*2754, e-mail: os2@tpu.ru

Подпись О.В. Стукача заверяю:
Учёный секретарь ТПУ




О.А. Ананьева