

Отзыв официального оппонента

Комашинского Владимира Ильича

на диссертацию Рабина Алексея Владимировича

«Ортогональное кодирование и многопозиционная модуляция в помехозащищенных системах передачи информации»

на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки)

1. Актуальность темы диссертации

В космических системах связи, в системах связи с подвижными объектами и других беспроводных системах, основное внимание уделяют достижению заданной вероятности ошибки на символ при минимальных энергетических затратах.

Известно, что наибольший эффект достигается при приеме в целом, который, однако, имеет высокую сложность реализации. Поэтому разработка методов обработки, близких по помехозащищенности к приему в целом, но имеющих приемлемую сложность реализации, является актуальным.

В диссертации А.В. Рабина показано, что между первым и вторым уровнями обработки можно ввести еще один уровень, который позволяет дополнительно снизить вероятность ошибки. Уменьшение вероятности ошибки осуществляется за счет использования ортогонального кодирования, являющегося аналогом сверточного кодирования. Введение дополнительного уровня обработки не затрагивает в значительной степени схемы первичной и вторичной обработок и лишь минимально изменяет фиксированную скорость передачи для различных случаев использования ортогональных кодов.

В виду вышеизложенного, актуальность темы диссертации А.В. Рабина не вызывает сомнений.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность результатов диссертационной работы, научная новизна

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, четко обоснованы.

Основные результаты и выводы в диссертации являются новыми. Степень достоверности и апробация результатов подтверждаются корректным применением математического аппарата, соответствием результатов имитационного моделирования теоретическим предложениям, широким спектром публикаций и выступлений как на 7 российских, так и на 9 международных конференциях.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Научная новизна разработанного метода синтеза декодирующих и кодирующих матриц состоит в том, что он рассматривает многочлены степени больше единицы, а с помощью синтезированных кодирующих матриц формируются кодовые последовательности, обеспечивающие реализацию ортогонального кодирования; при этом сам метод отличается свойством регулярности от случайного поиска отдельных пар матриц с применением комбинаторных методов и позволяет обеспечить вероятность ошибки благодаря выбору параметров матриц.

2. Научная новизна разработанного класса ортогональных кодов состоит в том, что они, в отличие от существующих, построены на основе синтезированных кодирующих матриц и обеспечивают повышение помехозащищенности сигналов, передаваемых по каналам телекоммуникационных систем, при большем количестве исправляемых ошибок по сравнению с существующими аналогичными решениями, что, в свою очередь, позволяет учесть обменные соотношения между помехоустойчивостью, спектральной эффективностью и сложностью реализации для широкого класса сценариев функционирования рассматриваемых телекоммуникационных систем.

3. Научная новизна разработанного комплекса моделей каналов передачи информации телекоммуникационных систем состоит в том, что он позволяет

осуществлять комплексное исследование на основе комбинации основных видов цифровой модуляции: амплитудной, квадратурной амплитудной, относительной фазовой и частотной – и разработанного ортогонального кодирования, обеспечивающего в совокупности с помехоустойчивым кодированием эффективное использование энергии передаваемых сигналов.

4. Научная новизна разработанных научно-технических предложений по реализации технологии повышения помехозащищенности телекоммуникационных систем состоит в том, что в результате проведенного диссертационного исследования разработана методология повышения помехозащищенности телекоммуникационных систем посредством применения ортогональных кодов, обеспечивающих при высоком отношении сигнал/шум большие, по сравнению с известными, значения спектральной эффективности.

3. Теоретическая и практическая ценность работы

Теоретическая значимость диссертационной работы обусловлена разработкой новой методологии повышения помехозащищенности телекоммуникационных систем посредством применения ортогональных кодов, формируемых сопряженными парами квадратных матриц.

Методология и методы исследования, применявшиеся в диссертационной работе для решения поставленных задач, развивают и объединяют методы теории вероятностей, теории информации, теории систем передачи информации, теории помехоустойчивого кодирования и теории моделирования систем передачи, применяя их к современным системам связи, а также отличаются от известных как своим комплексным подходом, так и учетом основных особенностей текущего этапа развития систем связи.

В результате разработан метод синтеза декодирующих и кодирующих матриц для формирования кодовых последовательностей, обеспечивающих реализацию ортогонального кодирования, позволяющий обеспечить вероятность ошибки благодаря выбору параметров матриц, и предложены новые модели и методы обеспечения помехозащищенности сигналов, передаваемых по каналам телекоммуникационных систем.

Полученные в работе научные результаты используются в деятельности ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (метод синтеза кодирующих и декодирующих матриц для формирования кодовых последовательностей и класс ортогональных кодов на основе синтезированных кодирующих и декодирующих матриц) и ФГАНУ «Научно-исследовательский институт «Специализированные вычислительные устройства защиты и автоматика» (комплекс моделей помехозащищенных каналов передачи информации телекоммуникационных систем и научно-технические предложения по реализации технологии повышения помехозащищенности телекоммуникационных систем при высоком отношении сигнал/шум для достижения требуемой спектральной эффективности).

Часть результатов диссертации получена при выполнении ряда крупных научно-исследовательских проектов, в том числе при исследованиях по грантам в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (соглашения № 14.575.21.0021, № 14.578.21.0022, № 14.578.21.0214), государственного задания Министерства науки и высшего образования в сфере научной деятельности в 2014-2016 гг. (соглашение № 2.2716.2014/К от 17.07.2014) и гранта РФФИ № 18-07-01298 в 2018-2020 гг.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что в ней разработан метод ортогонального кодирования, обеспечивающий существенный энергетический выигрыш практически без внесения избыточности и без значительного увеличения сложности аппаратуры. Результаты диссертации могут быть использованы для практической реализации в телекоммуникационных системах ортогонального кодирования, эффективность применения которого подтверждена количественными оценками и простыми процедурами кодирования и декодирования.

Результаты исследования и разработки А.В. Рабина:

– использованы для улучшения качества передачи и обработки информации в системах передачи данных, разрабатываемых АО «Концерн «Гранит-

Электрон»: они позволили повысить помехозащищенность систем передачи информации и обеспечить энергетический выигрыш в КВ-канале с замираниями на 6-8 дБ при фиксированной вероятности ошибки на бит 10^{-4} ;

– внедрены в АО «НПП «Пирамида» и используются в устройствах образования тактов передачи данных УОТ ПД СЖИК.465419.002 для обеспечения помехозащищенности каналов связи; внедрение указанных результатов позволило добиться уменьшения отношения сигнал/шум на 3 дБ в канале со случайной фазой при вероятности ошибки на бит 10^{-6} .

4. Публикации по теме диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 73 опубликованных работах, в том числе в 2 монографиях, 12 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 10 работах, опубликованных в трудах, индексируемых реферативной базой «Scopus», 12 докладах в сборниках докладов конференций, 14 отчетах о выполнении 5 НИОКР. По теме исследования получено 23 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

5. Содержание диссертации

5.1. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 322 страницы, включая 83 рисунка и 34 таблицы. Список использованной литературы содержит 211 наименований. Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Экспериментальные исследования проведены при участии и под его непосредственным научным руководством.

5.2. Текст диссертации отличается точным, подробным и доходчивым изложением предметной области, описанием объекта и предмета, методов и результатов исследования, оформлен аккуратно, в соответствии с требованиями ГОСТ. Список использованных литературных источников оформлен также в соответствии с требованиями ГОСТ.

5.3. Материал диссертации изложен в логической последовательности, отвечающей требованиям проведения научных исследований, имеет целостность и внутреннее единство содержания.

5.4. Выводы обоснованы и четко отражают результаты проведенных исследований.

6. Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации подробно не рассмотрены ограничения на эффективность применения ортогонального кодирования.

2. В главах 3 и 4 графики вероятности ошибки на бит для существующих решений и схем с ортогональным кодированием дополнены таблицами с числовыми значениями вероятности. При этом аналогичные таблицы отсутствуют в параграфе 5.3, рассматривающем сравнение ортогонального кодирования с современными техническими решениями, применяющими кодированную модуляцию, ортогональные и квазиортогональные сигналы (кодами на основе матриц Адамара, кодами Унгербоека, LDPC-кодами).

3. В главе 2 автором построена решетчатая диаграмма ортогонального кода на основе матриц порядка 4 глубины 2 и многочленов второй степени. По данной диаграмме определено свободное расстояние кода и максимально возможный энергетический выигрыш систем с кодированием относительно систем без кодирования. Результаты имитационного моделирования, приведенные в главах 3 и 4, подтвердили истинность данного теоретического предположения. При этом решетчатые диаграммы ортогональных кодов, построенных на основе матриц большего порядка, автором не приведены, очевидно, ввиду их сложности. Характеристики помехозащищенности таких систем с ортогональным кодированием получены только в результате имитационного моделирования.

7. Выводы и заключение

Несмотря на отмеченные выше замечания, диссертация А.В. Рабина «Ортогональное кодирование и многопозиционная модуляция в помехозащищен-

ных системах передачи информации» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные результаты разработки нового направления, имеющие существенное научное и практическое значение.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения ученых степеней.

Считаю, что автор диссертационной работы, Рабин Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).

Официальный оппонент

Советник генерального директора
закрытого акционерного общества
«Институт телекоммуникаций»,
доктор технических наук, доцент

В.И. Комашинский

02 февраля 2022 г.

*Подпись Комашинского В.И. подтверждаю
Зав. отделом кадров З.Н. Шейкина
Андреева Л.В.*

