

ОТЗЫВ

официального оппонента Ложкина Константина Юрьевича на диссертацию Резнева Андрея Алексеевича на тему «Исследование и разработка алгоритмов пространственно-временного кодирования для систем связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

1. Актуальность темы исследования

Современные тенденции развития мобильной связи определяются существенным ростом трафика. С целью удовлетворения растущих потребностей внедряются перспективные технологии группы стандартов 4G и 5G, которые предполагают использование систем с несколькими антеннами на приемной и передающей сторонах - MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output). Достижение высоких показателей эффективности систем связи MIMO требует соответствующего согласования между передачей и обработкой сигналов на приеме, что достигается за счет использования методов пространственно-временного кодирования. Применение ортогональных и неортогональных пространственно-временных кодов обеспечивает разумный компромисс между помехоустойчивостью и спектральной эффективностью.

В перспективных стандартах мобильной связи предлагается применение технологии «широкомасштабного» MIMO с десятками – сотнями антенн.

Проведенный автором анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о том, что существующие алгоритмы пространственно-временного кодирования, ключевыми элементами которых являются матрицы пространственно-временного кода (пространственно-временные матрицы), применительно к системам связи «широкомасштабного» MIMO не в полной мере способны обеспечить:

- высокую спектральную и энергетическую эффективность;
- приемлемую для практической реализации вычислительную сложность

алгоритмов демодуляции.

Такие требования являются противоречивыми, что обуславливает актуальность и своевременность решения значимой научной задачи разработки и исследовании указанных пространственно-временных матриц для систем ММО, в том числе большой размерности, с характеристиками помехоустойчивости, превышающими характеристики систем ММО с известными пространственно-временными матрицами.

2. Краткая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы и приложения.

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированные цель и научные задачи исследований.

В первом разделе приведены основные теоретические и практические научные достижения в части синтеза и оптимизации пространственно-временных матриц для систем связи ММО. Приведены методы синтеза пространственно-временных кодов большой размерности. Описаны существующие критерии оптимальности пространственно-временных кодов.

Во втором разделе предложены новые пространственно-временные коды для систем связи ММО больших размерностей. Исследован вопрос виртуализации таких систем, разработан метод синтеза эквивалентной виртуальной матрицы канала для пространственно-временных кодов произвольной размерности, включающий:

- рекуррентный способ – для пространственно-временного кода типа Голден высокой размерности;
- аналитические способы – для произвольных пространственно-временных матриц, как не содержащих комплексно-сопряженные символы, так и содержащих такие символы.

Подтверждена применимость разработанного метода виртуализации для существующих матриц с известными эквивалентными виртуальными матрицами кода.

Третий раздел посвящен исследованию вопросов поиска оптимальных пространственно-временных кодов. Предложен новый критерий оптимальности таких кодов, основанный на минимизации максимальной дисперсии корреляционной матрицы ошибок демодуляции, позволяющий, в отличие от известных критериев, учесть информацию о пространственной корреляции в каналах системы связи ММО. Применимость этого критерия подтверждена существенным объемом имитационного моделирования, в том числе, для систем связи Large Scale («широкомасштабного») ММО.

Четвертый раздел включает сравнительный анализ вычислительной сложности (временных затрат на расчеты) для предложенного критерия оптимальности пространственно-временных кодов и для существующих рангового и детерминантного критериев. Проведенный анализ подтверждает приемлемую вычислительную сложность предложенного критерия при больших размерах системы связи ММО, в отличие от известных критериев.

Заключение содержит итоги выполненного диссертационного исследования.

В **приложении** представлены акты о внедрении и использовании результатов диссертационной работы.

3. Научная новизна

Основная ценность научных результатов состоит в разработке алгоритмов пространственно-временного кодирования системы связи ММО большой размерности, базирующихся на наиболее значимых новых научных результатах диссертационного исследования, свидетельствующих о личном вкладе автора:

1) неортогональные пространственно-временные коды большой размерности, базирующиеся на порождающих матрицах Голден и матрицах с поворотом сигнального созвездия, и превосходящие по энергетической эффективности (помехоустойчивости) известные коды;

2) метод аналитического синтеза эквивалентной виртуальной матрицы канала для пространственно-временного кода типа Голден высокой размерности и для произвольных пространственно-временных матриц, как не содержа-

щих комплексно- сопряженные символы, так и содержащих такие символы;

3) критерий оптимальности пространственно-временных кодов, основанный на минимизации максимальной дисперсии корреляционной матрицы ошибок демодуляции, в отличие от известных критериев, позволяющий учесть информацию о пространственной корреляции в каналах системы связи MIMO и имеющий приемлемую вычислительную сложность при больших размерностях этой системы.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

Обоснованность научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- их достаточной публикацией в 15 научных трудах, в том числе, в 5 работах в рецензируемых научных изданиях, включенных ВАК РФ в перечень для опубликования материалов диссертаций;

- апробацией на 9 международных и 1 отраслевой научно-технических конференциях, а также при выполнении 1 научно-исследовательской и 6 опытно-конструкторских работ.

- результатами экспериментов, проведенных в ходе натурных испытаний макетов и опытных образцов систем передачи данных и робототехнических комплексов.

Достоверность научных положений и результатов диссертационной работы подтверждается корректностью постановок задач и применением адекватного математического аппарата для их решения, наличием ясной физической трактовки полученных результатов, их совпадением с известными результатами, полученными для частных условий другими методами, а также непротиворечивостью аналитических результатов и результатов имитационного моделирования.

5. Теоретическая значимость

Теоретическая значимость диссертации обусловлена разработкой метода

аналитического синтеза эквивалентной виртуальной матрицы канала для пространственно-временных кодов большой размерности и критерия оптимальности таких кодов, являющейся значимым вкладом в развитие методического аппарата обоснования и оценки эффективности перспективных систем связи «широкомасштабного» MIMO.

6. Практическая значимость

Диссертационные исследования имеют практическую значимость для разработчиков систем беспроводной связи по технологии MIMO.

Результаты диссертации в части синтезированных пространственно-временных кодов с улучшенной помехоустойчивостью использованы и внедрены ФГУП «НИИР», ФГУП «РНИИРС», ФГАНУ «ЦНИИ РТК» при создании систем передачи данных и робототехнических комплексов, что подтверждается актами о реализации и внедрении, приведенными в приложении рассматриваемой работы.

7. Замечания по диссертации

7.1. В работе отсутствуют пояснения, почему из описанных автором в подразделе 1.6 диссертации нескольких методов формирования матриц больших размерностей в разделе 2 была применена лишь часть из них.

7.2. В разделе 3 в результатах имитационного моделирования не учитывается влияние ошибок оценки матрицы канала на приеме, приводящее к снижению помехоустойчивости системы связи.

7.3. Во введении диссертационной работы при обосновании ее актуальности автор упоминает системы связи с «широкомасштабным» MIMO, количество антенн в радиоэлектронных средствах которых может достигать 128. В тоже время, в подразделе 3.9 при расчете помехоустойчивости разработанных в диссертации пространственно-временных кодов, автор без дополнительных пояснений ограничился 32 антеннами.

7.4. В заключении диссертационной работы не приведены рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

8. Общая оценка диссертации

Несмотря на перечисленные замечания, диссертационная работа Резнева Андрея Алексеевича безусловно заслуживает положительную оценку.

В работе достигнута ее цель – решена значимая научная задача разработки и исследования пространственно-временных матриц для систем ММО, в том числе большой размерности, с характеристиками помехоустойчивости, превышающими характеристики систем ММО с известными пространственно-временными матрицами.

Для достижения цели автор применил широкий спектр методов исследования, включающий методы статистической радиотехники, теории цифровой связи, теории алгоритмов, теории вероятностей, математической статистики и статистического моделирования.

Диссертация представляет собой законченную работу, обладающую внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие применение при разработке образцов систем передачи данных и робототехнических комплексов, в том числе, «Зрелище-С», «Мулла», «Модуль», «ЮЛА-Н», «Кадет», «Курсант». Структура работы выстроена последовательно в соответствии с поставленными задачами исследований и содержит актуальные результаты, имеющие теоретическую и практическую значимость.

Диссертационная работа содержит новые научные результаты, свидетельствующие о вкладе автора в науку, которые в целом соответствуют паспорту специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Автореферат полностью отражает основные научные результаты и содержание диссертации.

9. Заключение

Диссертация «Исследование и разработка алгоритмов пространственно-временного кодирования для систем связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами» удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Резнев Андрей Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Официальный оппонент



Ложкин Константин Юрьевич

«06» 09 2020 года

Сведения об официальном оппоненте:

Ложкин Константин Юрьевич, доктор технических наук, доцент, 20.02.25 «Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения», место работы – Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, должность – начальник научно-технического центра (противодействия роботизированным системам вооружения, военной и специальной техники) научно-исследовательского испытательного института (радиоэлектронной борьбы) Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации

Адрес: 394077, г. Воронеж, ул. Владимира Невского, дом 46/3, кв. 30.

Телефон: 8-919-247-64-26.

Email: K.Yu.Lozhkin@mail.ru

Подпись Ложкина К.Ю.

ЗАВЕРЯЮ

Саввин Александр Сергеевич,
помощник начальника строевого отдела

