

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Крещука Алексея Андреевича на тему «Разработка каскадных сигнально-кодовых конструкций для систем многоантенных передачи и приема» по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики» на соискание ученой степени кандидата технических наук

1. Актуальность темы диссертации

Диссертация А. А. Крещука посвящена разработке кодов для многоантенных приемо-передающих устройств. Начиная с 1990х-2000х годов возможность применения таких устройств даже в мобильной связи привлекла большое количество исследователей и разработчиков, в результате чего был достигнут существенный прогресс в энергетической и спектральной эффективности систем связи. Новая область исследований получила название ММО (много входов-много выходов). Хотя системы на основе ММО уже успешно применяются на практике, теория таких систем отстает от практики. С учетом этого обстоятельства тема работа очень актуальна.

Более того, уже совсем недавно, в течение 2-3 последних лет в базовых станциях сотовой связи на смену ММО приходят системы Massive ММО, использующие уже не 2-4, а десятки и сотни антенн. Это делает задачу, решаемую А. А. Крещуком еще более значимой.

2. Содержание диссертации

Диссертация состоит из трех глав. В первой главе обсуждается построение сигнальных кодов для ММО. Во второй главе речь идет о каскадных кодах как основной кодовой конструкции, обеспечивающий требуемую помехоустойчивость. Последняя глава посвящена построению каскадных кодов с внутренними сигнальными кодами.

Начнем обсуждение с первой главы.

Введены понятия кодов без повторений и перестановок символов (RPF-кодов) и кодов без перестановок символов (PF-кодов). Сами коды строятся на основе матриц Адамара: столбцы матриц являются символами предлагаемых кодов. Сформулированы условия однозначной декодируемости таких кодов.

Конструктивный подход к построению кодов основан на анализе подкодов кода Рида-Соломона (РС) с двумя информационными символами. Анализ кодов и алгоритмы выбора наилучших кодов используют алгебраические свойства смежных классов РС-кодов, комбинаторику, компьютерный поиск.

Помимо этого, в данной главе выведены границы снизу и сверху на расстояние кодов без перестановок и повторений, предложена метрика декодирования по максимуму правдоподобия, описана известная конструкция Золотого кода как альтернативного решения задачи.

Замечания по главе:

1. В обзоре декларируется (на стр.10), что для вновь построенных кодов квадрат минимального евклидова расстояния пропорционален длине кода. Этот результат является тривиально достижимым, если не оговаривается скорость кода.
2. Через N обозначен вектор шума. На стр. 12 читаем: Очевидно, что при $N = 0$ передача невозможна. Конечно, это просто опечатка: для N использован неверный шрифт.
3. Код определен как набор матриц с комплексными элементами. Нигде в тексте далее комплексные числа при описании собственной конструкции (в отличие от известного Золотого кода) не появляются, хотя каждый раз в качестве области значений сигналов указывается множество комплексных чисел. Формально получается, что мнимая составляющая сигнала просто не используется.
4. Построенные коды нелинейны. Использование для нелинейных кодов понятия спектра требует пояснений, поскольку спектры расстояний, вообще говоря, зависят от кодовых слов.
5. Вывод функции правдоподобия в параграфе 1.6 интуитивно понятен, но его формальная запись неточна. В частности, в каждой строке фигурирует константа, которая всякий раз различна и зависит от параметров кода, характеристик канала и т.п. Константа она только в том смысле, что не зависит от индексов кодовых слов. Это следовало указать в явном виде в тексте.
6. Определение многомерной числовой решетки на стр. 49 не совсем полное: отсутствует требование целочисленности коэффициентов линейной комбинации. Эта неточность не мешает в дальнейшем правильно использовать решетку.
7. Ссылка на [38] на стр. 54 не совсем точна. Субоптимальный приемник, использующий две наибольшие метрики, появился в литературе много позже, чем оптимальная схема Форни, в которой участвуют метрики всех слов.

Подчеркнем, что вклад первой главы в теорию кодов для систем ММО состоит в том, что введен и детально изучен новый класс пространственно-временных кодов. Отмеченные выше неточности представления материала не подвергают сомнению ни важности, ни математической обоснованности полученных результатов.

Глава 2 рассматривает каскадные коды без привязки к каким-либо сигнальным кодам. Эта глава служит подготовительным материалом для главы 3, где исследуются конструкции каскадных кодов с внутренними пространственно-временными кодами.

В качестве новых результатов этой главы выступают нижняя граница вероятности ошибки декодирования, алгоритм декодирования кодов-произведений и кодов на основе обобщенных кодов с локализацией ошибок.

Отметим некоторые недочеты представления материалов главы.

1. ОЛО-коды попеременно называются кодами с обобщенной локализацией ошибок и обобщенными кодами с локализацией ошибок. Правильной представляется вторая версия названия.
2. Алгоритмам декодирования кодов-произведений посвящена довольно обширная литература. Многие алгоритмы учитывают информацию об успешности предыдущей итерации декодирования компонентного кода (число исправленных

или обнаруженных ошибок) для увеличения общего числа исправляемых кодом комбинаций ошибок. Хотя предложенный в работе алгоритм представляется мне новым, я не исключаю, что он является частным случаем или упрощением какого-либо более общего алгоритма. В этом месте недостает ссылок на работы по декодированию итеративных кодов.

3. Комментарий к рис. 2.3. представляется спорным. Результаты для ОЛО кодов оказались много хуже, чем для произведения кодов. Тем не менее, автор утверждает, что ОЛО коды лучше, мысленно интерполируя результаты на ту область, где моделирование невозможно из-за высокой сложности. В данном случае интерполяция была бы убедительней, если бы была подкреплена, например, расчетами по выведенным границам.

Последняя, третья, глава изучает эффективность пространственно-временных кодов при их использовании в рамках каскадной конструкции в качестве внутренних кодов. Новыми результатами этой главы являются модификации кодов и алгоритмов декодирования в соответствии с решаемой задачей. Выполнено моделирование для сравнения различных вариантов алгоритмов декодирования.

В качестве внутреннего кода используется Золотой код. Это вполне естественное решение. Будучи кодом над многомерной числовой решеткой, этот код допускает формирование набора вложенных кодов требуемого для построения обобщенного каскадного кода.

Показано, что применение разработанных в работе модификаций декодирования улучшает поведение системы в целом при высоких значениях отношения сигнал-шум.

3. Достоверность и новизна результатов исследования

Достоверность результатов не вызывает сомнений, поскольку они получены квалифицированным применением математического аппарата комбинаторики, алгебры и теории вероятностей. Результаты подкреплены компьютерным моделированием.

Отмеченные выше некоторые неточности в формулировках не оказали влияния на точность анализа и справедливость приведенных в работе доказательств.

Новизна результатов работы определяется следующими положениями:

- Введены и исследованы новые классы пространственно-временных кодов. Для этого класса аналитически установлены границы на характеристики кодов, построены оптимальные и близкие к оптимальным коды, сформулированы алгоритмы декодирования по максимуму правдоподобия.
- В области обобщенных каскадных кодов предложена модификация алгоритма декодирования, исследована эффективность кодов применительно к системам с пространственно-временным кодированием.

4. Замечания по работе

При анализе содержания работы уже были указаны некоторые погрешности представления материала диссертации. По работе в целом отметим следующие недостатки:

– В качестве прототипов для сравнения следовало выбрать экспериментальные результаты для стандартных технических решений, известных из литературы по пространственно-временному кодированию.

– Результаты первой главы оказались невостребованными в третьей главе. Интересно было бы сравнить эффективность PRF и PF кодов с Золотыми кодами в рамках каскадной или обобщенной каскадной конструкции.

5. Апробация результатов

Материалы диссертации полностью отражены в 10 публикациях, среди которых материалы докладов ведущих мировых конференций по теории информации и кодированию.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы.

6. Заключение

Суммируя перечисленные выше новые результаты, полученные соискателем в области разработки кодов для многоантенных систем передачи и приема данных, можем сказать, что в диссертации успешно решена задача обеспечения высоконадежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи информации.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертация Крещука Алексея Андреевича на тему «Разработка каскадных сигнально-кодовых конструкций для систем многоантенных передачи и приема» является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики». Автор работы Крещук Алексей Андреевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности.

Официальный оппонент,
Профессор кафедры информационных систем
НИУ ИТМО,
доктор техн. наук, профессор
E-mail: boris@eit.lth.se
Тел. +7(812)-372-16-30.


17.11.2015
Б. Д. Кудряшов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. д. 49

