

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и цифровому развитию федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» - ВлГУ,
д.ф.-м.н., доцент



А.О. Кучерик

« 28 » декабря 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» на диссертацию Сидоренко Александра Анатольевича «Повышение эффективности комбинированных помехоустойчивых кодов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация «Повышение эффективности комбинированных помехоустойчивых кодов» выполнена в научно-образовательном центре «Системы радиосвязи и телекоммуникаций» при кафедре Радиотехника и радиосистемы ФГБОУВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

В период подготовки диссертации с 2015 г. по настоящее время соискатель к.т.н., доцент Сидоренко Александр Анатольевич работает в войсковой части № 2571.

В 2015 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка и исследование адаптивного помехоустойчивого кодера-декодера для локальных систем телеметрии» по специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций в диссертационном совете Д 212.025.04 (24.2.281.01),

созданном при ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Научный консультант - Самойлов Александр Георгиевич д.т.н., профессор, профессор кафедры Радиотехника и радиосистемы ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

По диссертационной работе Сидоренко А.А. представлена рукопись диссертации и сделан развернутый доклад с презентацией. По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Содержание работы. В диссертационном исследовании выполнен анализ современных подходов к повышению эффективности комбинированных помехоустойчивых кодов. Предложены методы повышения адаптивных возможностей последовательных каскадных кодов, созданных на основе внешнего сверточного кода и внешнего блочного кода. Рассмотрена возможность построения турбокода, на основе блочного кода, при декодировании в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности. Предложен метод создания комбинированных кодов путем реализации декодирования блочных и сверточных кодов с применением декодера турбокода и проведен анализ предлагаемого комбинированного кода на основе турбокода с дополнительным кодированием информационных бит. Исследована теоретически и экспериментально эффективность методов декодирования, основанных на максимизации апостериорной информации и по максимуму правдоподобия. Эксперименты проводились на разработанном Сидоренко А.А. программном имитаторе искажений цифровых посылок в радиоканалах.

Личное участие. Все научные и экспериментальные результаты, включая постановку задач, проведение расчетов и исследований, обобщении результатов получены Сидоренко А.А. лично, о чем свидетельствует и тот факт, что из 39 опубликованных им научных работ только 2 работы выполнены в соавторстве.

Теоретическая значимость исследования заключается в новых предложениях модификации методов и алгоритмов декодирования комбинированных помехоустойчивых кодов, в создании новых кодовых конструкций, в выводе

выражения для расчета вероятности битовой ошибки в декодированном информационном сообщении для турбокода на основе блочного кода Хемминга при декодировании согласно максимуму апостериорной вероятности.

Научная ценность диссертационного исследования следует из полученных результаты, а именно:

1. Решена научная задача, отличающаяся от известных тем, что предложена модификация метода избирательного кодирования при последовательном каскадном соединении кодов, что обеспечило повышение эффективности кодирования за счет реализации гибкой адаптации корректирующей способности кода при плавном увеличении скорости кода до 48%.

2. Выполнена модификация известного метода декодирования турбокодов созданных на основе сверточного кода и выведена формула для расчета вероятности ошибочного бита в декодированном информационном сообщении при таком построении турбокода.

3. Предложено добавлять к кодовому слову еще один или несколько блоков информационных бит, что позволило декодировать такие комбинированные коды предложенным модифицированным декодером турбокода.

4. Предложен новый вариант построения комбинированного кода на основе турбокода с дополнительным избирательным кодированием информационных бит, что повысило корректирующую способность кода и дало возможность гибкой адаптации корректирующей способности кода, путем изменения числа дополнительно кодированных информационных бит кодового слова турбокода. Выполнен расчет энергетического выигрыша от дополнительного кодирования.

5. Впервые предложена модификация методов декодирования комбинированных кодов по максимуму правдоподобия и методом максимизации апостериорной информации, путем применения коэффициентов, пропорциональных достоверности значений декодируемых символов, что позволило повысить корректирующую способность без роста избыточности кода и без ощутимого усложнения алгоритма декодирования.

6. Впервые предложена модификация метода декодирования согласно принципу максимизации апостериорной вероятности, путем применения по-

нижающих коэффициентов к значениям символов, достоверность которых оказывает большее влияние на результат декодирования, что также позволило повысить корректирующую способность без роста избыточности кода и без существенного усложнения алгоритма декодирования.

7. Разработаны программные комплексы, моделирующие работу упомянутых в диссертационном исследовании кодеков при прохождении двоичного симметричного канала с аддитивным белым гауссовским шумом.

Практическая ценность результатов. Предложенные методы обеспечивают возможность гибкой адаптации корректирующей способности помехоустойчивого кода, или повышают корректирующую способность без роста избыточности кода и усложнения алгоритмов декодирования. Поэтому практическая ценность результатов работы состоит в создании научно обоснованных методов и рекомендаций по повышению эффективности систем цифровой связи, что может быть конвертировано как в увеличение скорости передачи данных, так и в снижение необходимой мощности передатчика. Каждый из предложенных методов имеет свою практическую значимость, а именно:

1. Предложенный модифицированный метод последовательного кодирования путем реализации избирательного кодирования кодовых бит внутренним кодом. обеспечивает повышение эффективности кодирования путем реализации возможности гибкой адаптации корректирующей способности кода. Получена возможность плавного увеличения скорости кода до 48 %.

2. Модифицированный метод декодирования в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности, что позволяет осуществлять декодирование с использованием нерегулярной синдромной решетки блочного кода. Это делает возможным построение последовательных турбокодов на основе блочных кодов.

3. Комбинированный код, построенный путем реализации декодирования блочных и сверточных кодов в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности при повторной передаче информационных бит кодового слова, при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $p_B = 1 \cdot 10^{-3}$, обеспечил снижение вероятности битовой ошибки в 450 раз.

4. Комбинированный код на основе турбокода с дополнительным кодированием информационных бит при дополнительном кодировании лишь одного информационного бита обеспечил снижение вероятности появления ошибочного бита в декодированном сообщении в 2,18 раза при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $p_B=10^{-3}$. Изменяя число бит, подвергшихся дополнительному кодированию можно регулировать кодовую скорость и корректирующую способность комбинированного кода.

5. Модификация методов декодирования путем применения к значениям декодируемых символов коэффициентов, пропорциональных их достоверности, дала снижение вероятности битовой ошибки в 1000 раз при декодировании по методу максимума правдоподобия и в 5,3 раза по методу максимизации апостериорной информации, при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $p_B=10^{-3}$.

6. Предложена модификация алгоритма декодирования, позволившая применить к значениям информационных бит кодового слова комбинированного кода понижающие коэффициенты. Это позволило при декодировании снизить вероятность битовой ошибки в 35,7 раз (при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $p_B=10^{-3}$).

Публикации и апробация результатов. Основные результаты диссертации изложены в 39 опубликованных научных работах, в том числе в 16 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК и в 7 работах, входящих в международную базу научных статей Scopus. Результаты работы апробированы на 5 международных научных конференциях и многочисленных научных семинарах.

Достоверность полученных результатов обусловлена корректным применением теории информации, теории помехоустойчивого кодирования, теории вероятности и математической статистики, подтверждением теоретических результатов экспериментальными данными, а также активной апробацией достигнутых результатов и их подробной публикацией.

Выводы. Диссертация соответствует требованиям, установленным в пп. 9 - 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842,

предъявляемым к докторским диссертациям, соответствует пунктам паспорта специальности: 1-3, 15 по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций и является законченной научно-квалификационной работой.

Автореферат отражает суть диссертационного исследования и полностью соответствует диссертации.

Диссертация «Повышение эффективности комбинированных помехоустойчивых кодов» Сидоренко Александра Анатольевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Заключение принято на заседании научного семинара кафедры «Радиотехника и радиосистемы» Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Присутствовало на заседании 15 человек, в том числе 4 доктора наук и 5 кандидатов наук. Результаты голосования: "за" 15 чел., "против" - 0 чел., "воздержалось" - 0 чел., протокол № 7 от 26 декабря 2023 г.

Заведующий кафедрой

«Радиотехника и радиосистемы»

Наталья Николаевна Корнеева

к.т.н., доцент

/ Н.Н. Корнеева /

Руководитель семинара

Евгений Калманович Левин

д.т.н., доцент, профессор кафедры

«Радиотехника и радиосистемы»

/ Е.К. Левин /

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЖО
УЧ. СЕКРЕТАРЬ ВЛГУ
КОШОВА Т.Г.