



Автономная некоммерческая организация

"Институт инженерной физики"

(АНО "Институт инженерной физики")

Большой Ударный пер., д. 1А, стр. 1, г. Серпухов,
г.о. Серпухов, Московская обл., 142210
тел. 8(4967)353193; 351371; 8-499-400-05-75
факс: 8(4967)354420
e-mail: info@iifmail.ru; http://www.iifrf.ru
ОКПО 58914325, ОГРН 1225000027108,
ИНН/КПП 5043075306/504301001

№ _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Первый Вице-президент Института –
Главный конструктор
почётный работник науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор



С.В. Смуров

« 9 » апреля 2024 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сидоренко Александра Анатольевича
на тему: «Повышение эффективности комбинированных
помехоустойчивых кодов», представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети
и устройства телекоммуникаций

Совершенствование и развитие телекоммуникационной инфраструктуры Российской Федерации (РФ) требует от основных операторов связи РФ расширения перечня и качества предоставляемых населению информационных услуг. Последнее, в свою очередь, требует повышения скорости передачи информации и достоверности доставки сообщений по цифровым телекоммуникационным системам различного профиля: современный интернет, системы мобильной связи 4G, 5G, 6G и LTE, цифровое радиовещание и телевидение, другие системы интерактивного взаимодействия различных абонентов.

Ключевым решением в повышении достоверности доставки информации является помехоустойчивое кодирование. Несмотря на большое количество исследований в данной предметной области и значительное число разработанных кодовых конструкций, проблема создания эффективных кодов даже для случая гауссовских каналов далека от завершения.

Исходя из изложенного, **диссертационная работа Сидоренко А.А.**, посвященная повышению эффективности комбинированных помехоустойчивых кодов, **является актуальной и востребованной.**

В диссертации **разрешаемой научной проблемой** является **разработка методов формирования комбинированных помехоустойчивых кодов, обладающих повышенной эффективностью, и получение на их основе конкретных кодовых конструкций с существенно улучшенными свойствами, обеспечивающими значительное повышение качества функционирования цифровых систем передачи информации.**

Основными положениями, обладающими научной новизной, а также практической значимостью и **выносимыми на защиту, являются.**

1. Модифицированный метод последовательного кодирования путем избирательного кодирования кодовых бит внутренним кодом, который обеспечивает повышение эффективности кодирования за счет реализации возможности гибкой адаптации корректирующей способности кода к изменениям характеристик канала передачи данных. При этом доказана возможность плавного роста скорости передачи данных до 48%.

2. Комбинированный код, построенный на основе блочного или свёрточного кода путем повторной передачи информационных бит кодового слова с декодированием в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности. Предложенный вариант построения позволяет адаптировать характеристики кода к ухудшению состояния канала передачи данных. Для случая построения комбинированного кода на основе свёрточного кода снижение вероятности битовой ошибки в декодированном информационном сообщении составило 27 раз с $4,0 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-6}$ (при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $P_B = 10^{-3}$).

3. Модифицированный метод декодирования в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности, который позволяет осуществлять декодирование турбокода, построенного на основе систематического блочного кода, и без усложнения алгоритма выполнять декодирование мягкого решения детектора и декодирование перфорированного кода. При декодировании жесткого решения детектора изменение кодовой скорости возможно от 0,3 до 0,5, то есть – на 67%. При декодировании мягкого решения детектора изменение кодовой скорости возможно от 0,3 до 0,6, то есть – на 100%. Выведены формулы для расчета вероятности битовой ошибки при декодировании согласно максимуму апостериорной вероятности, для турбокодов на основе систематического свёрточного кода и на основе блочного кода Хемминга.

4. Комбинированный код на основе турбокода с дополнительным выборочным кодированием информационных бит. При дополнительном кодировании лишь одного

информационного бита зафиксировано снижение вероятности появления ошибочного бита в декодированном информационном сообщении в 2,18 раза при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $P_B = 10E-3$. При дополнительном кодировании трех информационных бит, вероятность битовой ошибки в декодированном информационном сообщении снизилась в 212 раз. Энергетический выигрыш от применения дополнительного кодирования информационных бит кодового слова турбокода составил: 0,28 дБ – при дополнительном кодировании одного бита; 0,78 дБ – при дополнительном кодировании двух бит; 0,8 дБ – при дополнительном кодировании трех бит.

5. Модификация методов декодирования по максимуму правдоподобия и максимизации апостериорной вероятности путем применения к значениям декодируемых бит коэффициентов, пропорциональных их достоверности. Применение модификации метода для декодера, функционирующего согласно принципу максимального правдоподобия, при исследовании корректирующей способности последовательного каскадного кода с избирательным кодированием внутренним кодом, привело к снижению вероятности битовой ошибки в декодированном информационном сообщении в 920 раз: с $1,1 \cdot 10E-10$ до $1,2 \cdot 10E-13$ (при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $P_B = 10E-3$). Применение модификации метода для декодера, функционирующего согласно принципу максимизации апостериорной вероятности, при исследовании корректирующей способности турбокода, с дополнительным избирательным кодированием информационных бит кодового слова, привело к снижению вероятности битовой ошибки в декодированном информационном сообщении в 5,3 раза: с $4,0 \cdot 10E-9$ по $7,6 \cdot 10E-10$ (при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $P_B = 10E-3$).

6. Модифицированный метод декодирования, согласно принципу максимизации апостериорной вероятности, путем применения понижающих коэффициентов к значениям символов, достоверность которых оказывает большее влияние на результат декодирования. При применении модифицированного метода декодирования турбокода, построенного на основе систематического свёрточного кода, зафиксировано снижение вероятности битовой ошибки в 14 раз: с $8,5 \cdot 10E-7$ до $6,1 \cdot 10E-8$ (при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $P_B = 10E-3$). Использование модифицированного метода декодирования комбинированного кода, полученного из свёрточного кода путем повторной передачи информационных бит, привело к снижению вероятности битовой ошибки в декодированном информационном сообщении в 208 раз: с $2,5 \cdot 10E-4$ до $1,2 \cdot 10E-6$ (при вероятности битовой ошибки в канале передачи данных $P_B = 10E-3$).

Теоретическая значимость заключается, в первую очередь, в разработке и исследовании новых предложений по модификации методов и алгоритмов декодирования комбинированных помехоустойчивых кодов, создании новых кодовых конструкций. Ряд предложенных нововведений обеспечивает возможность гибкой адаптации корректирующей способности помехоустойчивого кода. Иные модификации повышают корректирующую способность кода без роста избыточности кода и существенного усложнения алгоритмов декодирования.

Практическая ценность результатов работы состоит в создании новых кодовых конструкций, научно обоснованных методов и рекомендаций по повышению эффективности систем цифровой связи. Достижимое повышение эффективности помехоустойчивых каскадных кодов может быть конвертировано как в увеличение скорости передачи данных, так и в снижение необходимой мощности передатчика.

Следует положительно отметить многочисленные программные продукты, разработанные автором.

Результаты работы достаточно хорошо апробированы на конференциях и опубликованы в научных статьях. Требование ВАК по научным публикациям выполнено. Работа методически верно структурирована и изложена ясным техническим языком. Автореферат диссертации подробно отражает основные результаты работы, однако **имеются и замечания:**

- в тексте автореферата часто говорится про важность адаптации способа кодирования к характеристикам канала связи, однако возможные алгоритмы адаптации не указываются;

- не достаточно показано как созданные кодовые конструкции и предложенные решения по степени совершенства приближают систему связи к границе Шеннона.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают научной значимости полученных автором результатов.

Вывод:

В целом, исходя из автореферата, можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Сидоренко Александра Анатольевича является законченной научно квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной проблемы по повышению эффективности комбинированных помехоустойчивых кодов, что имеет существенное значение для развития информационной инфраструктуры РФ. Диссертация отвечает требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета АНО «Институт инженерной физики» (протокол № 08/04/01 от 08.04.2024).

Отзыв составили:

Ведущий научный сотрудник
управления специальных систем и средств связи
Центра систем и средств защиты
Автономной некоммерческой организации
«Институт инженерной физики»
Заслуженный деятель науки РФ, почетный радист,
доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал
«09» 04 2024 г.

142210, Россия, Московская обл., г.о. Серпухов, г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1А, стр. 1
тел. 8 (4967) 35-31-93,
e-mail: ds@iifmail.ru

Согласен на обработку персональных данных.

Владимир Анатольевич Цимбал

Начальник управления
специальных систем и средств связи
Центра систем и средств защиты
Автономной некоммерческой организации
«Институт инженерной физики»
кандидат технических наук

Виктор Анатольевич Прасолов
«09» 04 2024 г.

142210, Россия, Московская обл., г.о. Серпухов, г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1А, стр. 1
тел. 8 (4967) 35-31-93,
e-mail: ds@iifmail.ru

Согласен на обработку персональных данных.

Виктор Анатольевич Прасолов

Подписи Цимбала В.А. и Прасолова В.А. заверяю.

Секретарь научно-технического совета
Автономной некоммерческой организации
«Институт инженерной физики»



Елена Юрьевна Шахрай
«09» 04 2024 г.