

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Ефимушкина Владимира Александровича

на диссертационную работу Кирьянова Ивана Андреевича на тему «Декодирование кодов с малой плотностью проверок на четность», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Высокая надежность передачи данных в современных телекоммуникационных системах достигается за счет применения помехоустойчивого кодирования передаваемой информации. Исследуемые в рамках представленной работы декодеры обеспечивают одну из лучших исправляющих способностей среди всех существующих техник помехоустойчивого кодирования информации. Кодеки с малой плотностью проверок на четность широко распространены в современных спутниковых системах связи и последних стандартах технологии Wireless Fidelity (Wi-Fi). К достоинствам декодеров кодов с малой плотностью проверок на четность относят наличие быстрых процедур обнаружения и коррекции ошибок и отсутствие патентной защиты, что делает данный вид кодирования доступным для исследования, развития и внедрения в перспективных системах радиосвязи. В свете этого исследования соискателя в рамках выбранной темы являются **актуальными**.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 77 рисунков, 21 таблицу и размещена на 129 страницах.

Целью работы являлись разработка и исследование алгоритмов декодирования кодов с малой плотностью проверок на четность. Для достижения поставленной цели в работе **решались задачи** анализа существующих алгоритмов декодирования, оценки вычислительной сложности и исправляющей способности кодов с малой плотностью проверок на четность, а также разработки модификаций и методик, позволяющих повысить качественные показатели (скорость работы / используемые ресурсы памяти) программных реализаций таких декодеров.

Первая глава содержит обзор существующих достижений в рамках выбранной соискателем области исследований. В главе соискателем проведен

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 30 03 20 15

анализ существующих алгоритмов декодирования кодов с малой плотностью проверок на четность и дано их математическое описание. Приведена классификация способов обнаружения и коррекции ошибок такими кодами.

Вторая глава посвящена оценке вычислительной сложности декодирования кодов с малой плотностью проверок на четность. В главе получен ряд аналитических соотношений, позволяющих оценить число операций различного типа, выполняемых декодером по тому или иному алгоритму декодирования за одну итерацию обнаружения и исправления ошибок в принятом кодовом слове. Полученные соотношения обобщены на случай любых структур кодов: регулярных и нерегулярных.

Кроме того, в главе предложен способ расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора, позволяющий повысить скорость работы декодера при незначительном увеличении требований к памяти для хранения внутренних переменных при декодировании.

Третья глава посвящена имитационному моделированию работы декодера кодов с малой плотностью проверок на четность на примере сигнала L1С, планируемого к использованию в перспективных спутниковых телекоммуникационных подсистемах передачи эфемеридной и служебной информации. Для рассматриваемого кода получена зависимость вероятности битовой ошибки (BER) от битового отношения сигнал/шум для различных алгоритмов декодирования кодов с малой плотностью проверок на четность, а также зависимости числа используемых декодером итераций от битового отношения сигнал/шум и характеристики сходимости среднего «веса» синдрома. Помимо этого, в третьей главе предлагается методика компактного хранения матрицы проверки на четность, позволяющая экономить ресурсы памяти, предназначенные для её хранения.

В **четвертой главе** проводится исследование и декодирование выборки реального сигнала L1С, закодированной кодами с малой плотностью проверок на четность различной длины. При декодировании выборки использовалась предложенная модификация расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора и методика компактного представления матрицы проверки на четность. Результаты декодирования верифицированы посредством расчета контрольных сумм каждого декодированного кадра.

В главе предложен способ идентификации инверсии битового потока сигнала L1С на входе декодера кодов с малой плотностью проверок на четность посредством анализа сходимости «веса» синдрома от одной итерации к другой. Предложенный способ позволяет идентифицировать инверсию, возникающую из-за срыва слежения за фазой в тракте приемного устройства.

В пятой главе проведено сравнение рассматриваемого в рамках L1С кода с малой плотностью проверок на четность и блокового турбо кода произведения по критериям помехоустойчивость / вычислительная сложность.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации положений, выводов и рекомендаций вытекает из корректного использования аппарата теории вероятностей, методов дискретной математики и математического анализа, теории электросвязи, сравнения результатов имитационного моделирования с теоретическими, а также с результатами декодирования и расшифровки реального сигнала.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

1. Получены и проанализированы соотношения для расчета сложности итерации декодирования кодов с малой плотностью проверок на четность для регулярных и нерегулярных структур кодов.
2. Получены и исследованы вероятностные характеристики декодирования в рамках рассматриваемого кода с малой плотностью проверок на четность, используемого в стандарте L1С.
3. Предложена и апробирована методика выбора алгоритма декодирования под конкретные требования и платформу, на базе которой реализуется процесс декодирования.
4. Предложена методика представления матрицы проверки на четность, позволяющая экономить ресурсы памяти при декодировании.
5. Разработан упрощенный способ расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора, позволяющий повысить скорость работы декодера.
6. Предложен способ идентификации инверсии битового потока сигнала L1С за счет внутренних ресурсов декодера.

Следует подчеркнуть **практическую значимость** полученных результатов, заключенную в следующем:

1. Предложенная в рамках данной работы методика выбора алгоритма декодирования может использоваться при выборе алгоритма декодирования, удовлетворяющего конкретным требованиям и аппаратуре, на базе которой реализуется процесс декодирования.

2. Предложенная методика представления разреженной матрицы проверки на четность позволяет экономить используемые приемником ресурсы памяти, предназначенные для хранения внутренних переменных декодера.

3. Предложенный способ расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора позволяет повысить скорость работы декодера без потерь в исправляющей способности и при незначительном увеличении требуемых на декодирование ресурсов памяти.

4. Предложенный способ идентификации инверсии может применяться для идентификации инверсии битового потока на входе декодера кодов с малой плотностью проверок на четность.

Полученные в диссертации результаты исследований **внедрены** при разработке приемника в компании ООО «Топкон Позиционинг Системс». На основе материалов диссертации разработано учебное пособие «Принципы построения и алгоритмы реализации LDPC кодеков» для использования в учебном процессе по специальности 210402 «Средства связи с подвижными объектами» и направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Основные результаты диссертационной работы **опубликованы** автором в 17 изданиях, 7 из них в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Основные положения и выводы по работе **прошли апробацию** на 6 научно-технических конференциях.

В диссертационной работе отмечается, что все результаты, полученные в рамках данной работы, являются **личными** достижениями соискателя.

Работа не лишена **недостатков**:

1. В работе предложен упрощенный способ расчета поправок к «мягким» априорным решениям демодулятора, и заявлен полезный эффект относительно скорости работы декодера в 3 раза. Не уточняется, что данный выигрыш

справедлив для конкретной аппаратуры и структуры рассматриваемого LDPC кода и в общем случае может отличаться от заявленного значения.

2. Вместо встречающегося термина «низкоплотностный код», следует использовать общепринятое название «код с малой (или низкой) плотностью проверок на четность».

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую новизну и несомненную практическую ценность для современных телекоммуникационных систем. Полученные в рамках работы результаты нашли отражение во множестве опубликованных соискателем работ и апробированы на различных научно-технических конференциях.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

С учетом вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Кирьянова Ивана Андреевича «Декодирование кодов с малой плотностью проверок на четность» полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук, доцент,

директор департамента пакетных сетей и услуг

ОАО «Интеллект Телеком»,

Почтовый адрес: 109044, г. Москва, ул. Мельникова, д. 29

Рабочий телефон: +7 (495) 739-79-79 #1600

Адрес электронной почты: efimushkin@i-tc.ru



Ефимушкин В.А.

«23» МАРТА 2015 г.