

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук Башкирова Алексея Викторовича
на диссертацию Мыцко Евгения Алексеевича

**«Алгоритмы и аппаратная реализация на ПЛИС устройств обнаружения
и исправления пакетных или независимых ошибок для сообщений
короткой длины»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления»

Актуальность темы

Разработка современной радиоэлектронной аппаратуры является весьма наукоёмкой и во всех отношениях затратной задачей, решение которой особенно усложняется в случаях внедрения новых технологий передачи и обработки информации или существенного повышения требований к технико-экономическим показателям. Скорость повышения требований к современным системам передачи данных, таким как мобильное вещание, спутниковое вещание и телефония, цифровое телевидение и др. требует решения все более наукоемких проблем и задач. В последние годы в мировых научных изданиях все чаще появляются статьи, посвященные проблемам разработки и реализации декодирующих устройств на ПЛИС и разработке для них эффективных алгоритмов и программ, что связано с их универсальностью, возможностью перехода на новые помехоустойчивые алгоритмы без замены дорогостоящего оборудования и возможности организации мелкосерийного выпуска. Так же особое место в процессе разработки помехоустойчивых декодеров занимает их моделирование. В этой связи особое значение приобретает компьютерное моделирование, позволяющее выбрать наиболее эффективные варианты реализации декодеров и избежать нежелательных затрат на изготовление экспериментальных образцов аппаратуры и исследование их характеристик, в том числе, с использованием нестандартного метрологического оборудования (аппаратных имитаторов каналов связи и др.). Отметим, что при этом в ряде случаев возникает необходимость проведения очень больших объемов эксперимента, требующихся при оценке характеристик методов коррекции ошибок при низких целевых вероятностях ошибки, требующихся в современных системах передачи и хранения данных. Современные пакеты прикладных компьютерных программ, такие как MatLab с расширением Simulink, в принципе позволяют решать такие задачи, однако при этом производительность вычислений оставляет желать лучшего. Это обусловлено тем, что использование имеющихся математических моделей сопряжено с выполнением сложных итеративных процедур обработки данных при получении оценок качества канала, исследовании процессов синхронизации, демодуляции и особенно декодирования. Поэтому для ускорения процессов

моделирования разработчикам приходится отказываться от дорогостоящих универсальных пакетов прикладных программ и реализовывать модели «вручную» с использованием программирования на каком-либо из удобных алгоритмических языков, например С++. Кроме этого, в последнее время внимание специалистов больше уделяется программно-ориентированным системам (SDR), в которых значительная часть цифровой обработки сигналов выполняется на обычном персональном компьютере, имеющем в своем составе многоядерный центральный или графический процессор. В таких системах для обеспечения необходимой скорости декодирования информации должны применяться программные версии декодеров, обеспечивающих высокоскоростное и эффективное исправление ошибок.

Тема диссертации Мыцко Евгения Алексеевича предполагает разработку эффективных алгоритмов и программ для устройств обнаружения и исправления различных видов ошибок, возникающих в каналах связи и при хранении данных. Для решения поставленной цели автор провел всесторонний обзор и анализ существующих методов и алгоритмов обнаружения и исправления ошибок, применяемых в устройствах передачи и хранения данных. Создал матричный алгоритм быстрого вычисления циклических избыточных кодов (CRC) для реализации на современных ПЛИС. Разработал алгоритм поиска образующих полиномов, адаптированный для параллельной обработки на вычислительных ядрах процессора, позволяющий находить полиномы, применяемые для построения более эффективных циклических помехоустойчивых кодов, чем коды БЧХ. Разработал устройства исправления независимых ошибок на ПЛИС на основе табличного и циклического алгоритмов декодирования с применением циклического помехоустойчивого кода БЧХ (15,7,5), кода (17,9,5) и укороченного кода БЧХ (19,9,5) для сравнения быстродействия и аппаратных затрат. Сформировал устройства исправления пакетных ошибок на ПЛИС на основе табличного и циклического алгоритмов декодирования с применением циклического помехоустойчивого кода (15,8,3) и кода (21,9,6) для сравнения быстродействия и аппаратных затрат.

Работа выполнена в рамках соглашения № ЭБ 075-02-2018-1909 от 20.12.2018 г. (№ 05.578.21.0272, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57818X0272) по теме: «Разработка технических решений и аппаратно-программного комплекса управления цифровыми электрическими подстанциями для построения интеллектуальной энергосистемы».

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор выносит на защиту ряд основных положений, аккумулирующих главные итоги исследования и характеризующихся научной новизной. В результате анализа современных и широко применяемых способов и алгоритмов обнаружения и исправления пакетных и независимых ошибок

при передаче и хранении данных (глава 1) алгоритмов, программ и устройств обнаружения ошибок (глава 2), алгоритмов, программ и устройств исправления ошибок (глава 3), автор диссертационного исследования приходит к обоснованному выводу об эффективности предложенного матричного алгоритма вычисления циклических избыточных кодов CRC, который позволяет при аппаратной реализации на ПЛИС вычислять контрольную сумму быстрее (положение 1). На основании проведенного исследования алгоритмов исправления ошибок (глава 3), а также постановки компьютерного эксперимента, автор обоснованно предлагает алгоритм поиска образующих полиномов, адаптированный для параллельных вычислений, позволяющий находить полиномы для построения циклических помехоустойчивых кодов со скоростью на 2–25 % выше, чем у циклических кодов BCH с сообщением длиной от 1 до 32 бит и количеством исправляемых ошибок от 2 до 4 (положение 2). Для улучшения быстродействия и снижения аппаратных затрат, автором разработаны устройства исправления независимых ошибок на ПЛИС с применением предложенного циклического помехоустойчивого кода (17,9,5) на основе циклического алгоритма декодирования (глава 3, положение 3). Для повышения производительности декодирующих устройств, предложена модификация циклического алгоритма декодирования, которая позволяет разрабатывать устройства на ПЛИС для декодирования кодов с сообщением длиной от 1 до 32 бит и количеством исправляемых пакетных ошибок от 2 до 6. (положение 4). Несомненный интерес представляют собой и численные оценки эффективности предложенных решений, полученные с использованием разработанных программных средств в ходе множества вычислительных экспериментов.

Результаты вычислительных экспериментов можно с полной уверенностью считать достоверными, а положения и выводы достаточно обоснованными.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации и написан ясным и лаконичным языком.

Новизна исследований и полученных результатов, степень их обоснованности и достоверности

В качестве главных новых результатов, полученных автором лично, можно отметить следующие:

1. Предложен матричный алгоритм вычисления контрольной суммы CRC, который отличается лучшим быстродействием при реализации на ПЛИС и меньшим требуемым объемом памяти при программной реализации на микроконтроллере.

2. Разработан алгоритм поиска образующих полиномов, для построения циклических помехоустойчивых кодов, исправляющих независимые ошибки, отличающийся от известных тем, что позволяет

получать полиномы более короткой длины для построения циклических кодов, более эффективных с точки зрения отношения полезной информации к избыточной, чем коды БЧХ.

3. Предложенный циклический помехоустойчивый код (17,9,5), позволяющий проектировать более быстродействующие декодирующие устройства с меньшими аппаратными затратами, чем устройства на основе укороченного кода БЧХ (19,9,5) и позволяющий кодировать на 2 бита больше информации, чем код БЧХ (15,7,5) при сохранении избыточности.

4. Предложенная модификация циклического алгоритма декодирования, позволяющая исправлять пакетные ошибки и проектировать декодирующие устройства на ПЛИС.

Достоверность выводов и рекомендаций в работе подтверждается результатами сравнительного анализа полученных результатов с результатами, представленными в отечественной и зарубежной литературе, а также сопоставлением результатов, полученных путем аналитического расчета и многократного имитационного моделирования.

Практическая значимость полученных результатов

Теоретическая и практическая значимость исследования подтверждается применением полученных результатов при выполнении научно-исследовательских работ в рамках № ЭБ 075-02-2018-1909 от 20.12.2018 г. (№ 05.578.21.0272, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57818X0272) по теме: «Разработка технических решений и аппаратно-программного комплекса управления цифровыми электрическими подстанциями для построения интеллектуальной энергосистемы»

Практическая значимость работы подтверждается применением основных результатов диссертации в системе управления установки Токамак КТМ (Национальный ядерный центр, Республика Казахстан, г. Курчатов). В рамках работ по хоз. договору № 4-673/16У от 26.09.2016 «Разработка средств технического обеспечения устройств сбора данных, контроля и защиты электрофизической установки токамак».

Основные научные результаты работы характеризуются научной новизной и достаточно полно отражены в 6 статьях рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК РФ. Также 4 публикации индексируются в Международных базах данных SCOPUS (Conference paper) и 6 публикаций индексируются в Web of Science (Conference paper). Получено 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе

1. В ходе научного обзора, автор сформулировал «простоту реализации» как одно из требований к алгоритмам и устройствам, обеспечивающим целостность информации. Несмотря на детальное описание

алгоритмов в тексте работы, автор не приводит количественных или качественных оценок по данному критерию.

2. Для таблиц 3.4 – 3.6 (стр. 101 – 104) и 3.7 (стр. 107), отражающих результаты работы алгоритма поиска образующего полинома, не приведено пояснение наличия прочерков для некоторых параметров длины информационного блока (m) и количества исправляемых ошибок (t). Возможно, автор посчитал нецелесообразным искать полиномы для случаев $t > m$. Однако, ошибка может распространяться и на контрольный блок, поэтому в этом случае не стоит ограничивать поиск полиномов значениями параметра $t = m$.

3. В главе 3 следовало бы привести расчеты и (или) графики частоты битовой ошибки (Bit Error Rate, BER) при использовании предложенных циклических помехоустойчивых кодов и алгоритмов исправления ошибок.

4. В работе недостаточно подробно проанализированы ситуации влияния различных видов шумов и наводок в каналах связи на процедуры декодирования.

5. Основные результаты в диссертационной работе получены эмпирическим путем. При получении результатов, в основном, использовался известный математический аппарат.

Заключение

Отмеченные выше замечания не влияют на общую оценку диссертационной работы в целом. Она является законченной работой, содержащей обоснованное теоретическое и практическое решение задачи разработки эффективных алгоритмов и программ для устройств обнаружения и исправления различных видов ошибок при передаче и хранении данных. Таким образом диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных и выполненных автором исследований разработаны и представлены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие вычислительной техники.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам области исследования паспорта специальности **05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»: п.1.** В работе приведены результаты создания принципиально новых схем и устройств, с применением языка описания аппаратуры для решения задачи контроля целостности информации, передаваемой между элементами вычислительной техники. **п.4.** Разработаны алгоритмы и программы контроля целостности данных в устройствах вычислительной техники, осуществлена аппаратная реализация разработанных алгоритмов с применением языка описания аппаратуры.

Считаю, что представленная диссертация полностью удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, которые установлены «Положением о порядке присуждений ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Мыцко Евгений Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент,
Башкиров Алексей Викторович,
доктор технических наук, доцент,
и.о. заведующего кафедрой
конструирования и производства
радиоаппаратуры, ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
технический университет».
394006, г. Воронеж, ул. 20 Лет Октября,
84
Служеб. тел. +7(473)243-77-06:
E-mail: kipr@vorstu.ru

 « 2 » 09 2019

