

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Останина Сергея Александровича

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

Для обеспечения оперативной и надёжной передачи команд и данных в различных системах необходимо применять аппаратные кодеки помехоустойчивых кодов, как обнаруживающие ошибки с запросом на повторную передачу, так и исправляющие ошибки заданной кратности без повторной передачи. Целостность и достоверность информации является важным фактором в системах управления и контроля, т.к. неверные значения могут ввести в заблуждение оператора в автоматизированных системах, либо существенно повлиять на результаты работы реализованного алгоритма в автоматических системах. В свою очередь, неверные команды от управляющего устройства к исполнительному могут привести к непредсказуемым последствиям. При разработке модулей или устройств, обеспечивающих целостность данных, необходимо учитывать требуемое быстродействие и аппаратные ресурсы. В диссертационной работе Е.А. Мыцко предложены разработанные автором алгоритмы кодирования и декодирования, а также быстродействующие устройства на их базе.

Предмет диссертационного исследования весьма актуален, так как алгоритмы кодирования находят широкое применение в целом ряде областей современной техники, а именно: в системах автоматического управления, в телекоммуникациях, в радиотехнике, при архивировании и резервировании данных. В данной работе, диссертантом проведено комплексное исследование алгоритмов в среде Quartus II, их апробация на экспериментальном стенде, а также в составе системы управления установки Токамак КТМ.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа включает **введение, четыре главы, заключение и четыре приложения.**

Во **введении** представлено обоснование актуальности диссертационной работы, обозначены цель и задачи исследования, сформулированы пункты научной новизны, практической значимости,

положения, выносимые на защиту. Сформулированы основные требования к алгоритмам и устройствам контроля и восстановления целостности информации, подвергающейся искажениям в результате различных шумов, наводок или сбоев оборудования.

В первой главе проведён обзор существующих способов и алгоритмов, обеспечивающих обнаружение и исправления ошибок в различных каналах связи и устройствах вычислительной техники. Выявлены основные недостатки существующих алгоритмов обнаружения ошибок на основе циклических кодов CRC, а также недостатки кодов BCH, позволяющих исправлять ошибки без повторной передачи данных. Обозначена задача поиска образующих полиномов для построения эффективных циклических помехоустойчивых кодов.

Вторая глава посвящена исследованию существующих и разработке новых алгоритмов обнаружения ошибок на основе кодов CRC. Предложен матричный алгоритм вычисления кодов CRC, заявленный как более эффективный по быстродействию, чем существующий табличный алгоритм. Проведено экспериментальное исследование аппаратных реализаций алгоритмов в САПР Quartus II, а также программных реализаций для операционной системы на основе ядра Linux и микропроцессорной системы на основе микроконтроллера Attiny. По результатам исследований сформулированы рекомендации к применению программной реализации матричного алгоритма для систем с дефицитом ресурсов. По исследованию аппаратной реализации сделан вывод о возможности наращивания быстродействия устройства контроля целостности данных за счет параллельной обработки нескольких байт данных.

Третью главу можно условно разделить на две части: разработка алгоритма поиска образующих полиномов, который позволит находить полиномы с лучшими характеристиками, чем существующие многочлены кодов BCH. На основе некоторых полученных образующих полиномов построены циклические помехоустойчивые коды и проведено исследование аппаратных реализаций на ПЛИС алгоритмов декодирования данных кодов. Предложен циклический алгоритм декодирования для исправления пакетных ошибок на основе алгоритма для исправления независимых ошибок. Осуществлены программная (для микроконтроллера) и аппаратная для ПЛИС реализации предложенного алгоритма.

Четвертая глава посвящена практическому применению предложенных алгоритмов, программ и устройств для обеспечения целостности данных в различных системах. На основе системы синхронизации установки Токамак КТМ продемонстрировано применение

циклического алгоритма декодирования для исправления пакетных ошибок при передаче команд от управляющего модуля к исполнительным.

Продемонстрировано применение основных результатов третьей главы на экспериментальном стенде путем передачи коротких сообщений с последующим искажением случайных битов информации.

В **заключении** представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Приложения содержат блок-схемы алгоритмов вычисления кодов CRC, таблицы шаблонов ошибок и характеристики быстродействия устройств исправления ошибок на ПЛИС (в тактах). Также в приложении представлены акты о внедрении основных результатов работы и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат достаточно хорошо структурирован и полностью отражает основные научные результаты и положения, выносимые на защиту диссертационной работы.

Научная новизна и практическая значимость

В работе приведены программные реализации различных алгоритмов вычисления контрольной суммы CRC8 с различными модификациями для микропроцессорной системы измерения температуры. Приведено сравнение реализаций по быстродействию и требуемому объёму памяти, на основе которого сформулированы рекомендации по применению алгоритмов в зависимости от условий реализации. Приведены аппаратные реализации на ПЛИС различных алгоритмов вычисления контрольной суммы CRC8 и CRC32, а также сравнение реализаций по быстродействию и аппаратным затратам, на основе которого сформулированы рекомендации по применению алгоритмов для реализаций на ПЛИС.

Разработанные декодирующие устройства циклических помехоустойчивых кодов на ПЛИС, исправляющие независимые и пакетные ошибки на основе циклического алгоритма декодирования, могут быть применены в системах передачи данных автоматизации производства, спутниковых системах, а также при хранении данных в запоминающих устройствах. Предложенные циклические помехоустойчивые коды, обладающие меньшей избыточностью, чем существующие, позволят проектировать более эффективные устройства исправления ошибок с точки зрения отношения полезной передаваемой информации к избыточной.

Несмотря на то, что научно-технические результаты работы имеют выраженный прикладной характер, автором получены и значимые теоретические результаты, сформулированные в следующих положениях:

- предложенный матричный алгоритм вычисления CRC отличается от известных табличных более высоким быстродействием при меньших требованиях к памяти;
- предложенный алгоритм поиска образующих полиномов позволяет строить циклические помехоустойчивые коды, имеющее лучшее соотношение полезной информации к избыточной для сообщений короткой длин чем коды БЧХ;
- созданное на базе ПЛИС устройство исправления независимых ошибок обладает лучшим быстродействием чем аналогичное устройство, использующее известный код БЧХ;
- созданное на основе циклического алгоритма декодирования устройство на ПЛИС способно исправлять пакетные ошибки без ограничения длины кодового слова.

Соответствие результатов работы содержанию опубликованных работ

Научные результаты отражены в шести публикациях журналов из перечня ВАК, что свидетельствует об их новизне и значимости. Также имеются публикации, индексируемые в базе Scopus и Web of Science в статусе Conference Paper. Имеется множество публикаций результатов в трудах всероссийских и международных конференций, в том числе за рубежом. Получено четыре свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Отличный научный уровень работы подтверждается медалью РАН, которой был награждён диссертант в 2015 году.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные научные положения диссертационной работы подтверждаются результатами экспериментальных исследований разработанных алгоритмов и устройств на ПЛИС в САПР Quartus II, а также результатами компьютерных экспериментов с использованием разработанных программ и их сравнением с результатам из отечественной и зарубежной литературы. Работоспособность предложенных алгоритмов и устройств подтверждена результатами лабораторного эксперимента с применением специального стенда, в состав которого входит ПЛИС и каналы передачи данных. Достоверность выводов и рекомендаций подтверждается публикациями основных результатов работы в рецензируемых российских изданиях и трудах зарубежных конференций.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует п. 1 и п. 4 паспорта специальности **05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»**. В работе представлены результаты создания принципиально новых схем и устройств, с применения языка описания аппаратуры для решения задачи контроля целостности информации, передаваемой между элементами вычислительной техники (п. 1), также разработаны алгоритмы и программы контроля целостности данных в устройствах вычислительной техники, осуществлена аппаратная реализация разработанных алгоритмов с применением языка описания аппаратуры (п. 4).

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Диссертация содержит очень большое количество таблиц, часть из которых, для лучшего восприятия результатов, следовало бы заменить графиками.

2. В таблицах результатов поиска образующих полиномов (стр. 101–104) не приведены образующие полиномы для однократной ошибки ($t = 1$).

3. В различных схемах (рис. 3.33 - стр. 136, рис. 3.43 - стр. 149, рис. 3.49 – стр. 153) не понятно какая арифметическая или логическая операция выполняется в блоке «исправления ошибки».

4. Несмотря на подробный анализ результатов эксперимента по поиску образующих полиномов для исправления независимых ошибок (раздел 3.2), раздел с описанием алгоритма поиска полиномов для пакетных ошибок (3.3) описан достаточно кратко, без сравнительного анализа результатов и сравнения быстродействия параллельной и последовательной реализаций.

5. Не совсем понятна идея и суть раздела 3.5 «Программная реализация алгоритмов для микропроцессорного устройства» и какие выводы можно извлечь из экспериментов по программной реализации алгоритмов исправления ошибок для микроконтроллеров.

6. В главе 4 при описании устройства отсутствуют характеристики каналов передачи данных, в том числе оценки их надёжности, что не позволяет судить о том, являются ли предложенные автором помехоустойчивые коды достаточными или избыточными с точки зрения обеспечения целевой вероятности приёма сообщений.


Отмеченные выше замечания не снижают высокий уровень и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Мыцко Евгения Алексеевича является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему по обеспечению целостности информации в устройствах

вычислительной техники. В целом полученные автором результаты можно рассматривать как существенный вклад в совершенствование теории создания и исследования свойств и принципов функционирования схем и устройств вычислительной техники для аппаратного контроля целостности информации. По актуальности исследований и решаемых задач, а также научных и практических результатов диссертационная работа соответствует требованиям п.9. «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, а ее автор Мыцко Е.А. заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент,
Останин Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой компьютерной
безопасности, ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
Томский государственный университет»,
634050 г. Томск, пр. Ленина 36.
Сот. тел. 8-903-953-77-90
E-mail: sergeiostanin@yandex.ru.

 «20» 09 2019

