

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

*На правах рукописи*

**ХАХАНОВА Анна Владимировна**

УДК 621.327: 681.5

**СТРУКТУРНО-КАСКАДНЫЕ МЕТОДЫ СЖАТИЯ И  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ В  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук**

**Научный руководитель  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
Баранник Владимир  
Викторович**

**Харьков – 2009**

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ	
1.....	16
1.1. Исследование технологического процесса обработки двоичных данных.....	16
1.2. Обоснование критерия эффективности процесса компактного представления данных.....	26
1.3. Анализ методов компактного представления в телекоммуникационных сетях.....	28
1.4. Постановка задач на исследования.....	31
Выводы.....	3
2	
РАЗДЕЛ 2. ОДНОМЕРНОЕ ПЛАВАЮЩЕЕ СТРУКТУРНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДВОИЧНЫХ МАТРИЦ.....	34
2.1 Формирование комбинаторной модели двоичных матриц.....	34
2.2. Формирование одномерного плавающего структурного представления двоичных данных.....	43
2.3. Построение плавающего одномерного структурного кодирования двоичных данных с ограниченным числом серий единиц.....	49
2.4. Восстановление двоичных матриц.....	55
Выводы.....	62
РАЗДЕЛ 3. МЕТОДЫ КАСКАДНОГО СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДВОИЧНЫХ ДАнных.....	64
3.1. Обоснование направлений повышения эффективности процессов информационно-технической диагностики.....	64
3.2. Разработка метода структурного каскадного кодирования двоичных данных.....	71

3.3. Создание метода восстановления каскадных структурных чисел.....	89
3.4. Создание параллельного восстановления двоичных каскадных структурных чисел.....	99
Выводы.....	108
РАЗДЕЛ 4. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДВОИЧНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	
4.1. Оценка количества операций на обработку каскадных структурных чисел.....	114
4.2. Оценка степени сжатия для каскадного структурного кодирования.....	125
4.3. Оценка эффективности разработанных методов компактного представления данных в телекоммуникационных системах.....	129
4.4. Аппаратная имплементация технологии сжатия тестов.....	136
Выводы.....	146
ВЫВОДЫ.....	15
0	
Приложение А. Программный VHDL код Test compression .....	159
Приложение Б. Документы, подтверждающие внедрение результатов диссертации.....	201
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	205

## СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

TKC	–	телекоммуникационная сеть
SoC	–	System-on-Chip
ISDN	–	интегрированные цифровые сети
ВОЛС	–	волоконно-оптические линии связи
АСУ	–	автоматизированная система управления
ОПСЧ	–	одномерное двоичное плавающее структурное число
КСЧ	–	каскадное структурное число
АК	–	арифметическое кодирование
КДС	–	кодирование длин серий
КСК	–	каскадное структурное кодирование

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы.**

Современная телекоммуникационная сеть (ТКС) представляет собой инфраструктуру взаимосвязанных программно-управляемых цифровых вычислителей с функциями приемо-передатчиков сжатой информации, рассредоточенных в пространстве [21, 51, 62]. Компонентами инфраструктуры являются: мощные компьютеры и цифровые системы на кристаллах, ориентированные как на проводные, так и на беспроводные технологии обмена данными с внешним миром в реальном масштабе времени, благодаря применению фильтров. Практически уже состоялся интеграционный процесс взаимопроникновения между телекоммуникационными, компьютерными и радиотехническими системами и сетями. В качестве примера интеграции может служить Ultra Mobile PC, сочетающий функциональности компьютера, телекоммуникатора, приемо-передатчика, телефона и навигатора. Это стало возможным благодаря развитию микро- и нанoeлектронных технологий, которые обеспечили возможность совместного проектирования программно-аппаратных компонентов цифровых, аналоговых, радиочастотных и смешанных систем, имплементируемых в силиконовый кристалл. Специализированные вычислительные устройства, интегрируемые в систему на кристалле (SoC – System-on-Chip), включают приемопередатчик; процессор; память; порты ввода-вывода; аналого-цифровые, цифро-аналоговые преобразователи, а также кодеки-фильтры для сжатия и восстановления информации [68, 80]. Поэтому

SoC рассматривается как вычислительное, теле- и радиотехническое устройство, работающее под управлением программного обеспечения, которое на 90% создает и определяет функциональность электронного изделия. С другой стороны, развитие микроэлектроники, совершенствование радиочастотных и микропроцессорных компонентов делает возможным создание более интеллектуальных, гибких, программно-управляемых и универсальных радиоустройств с гибкой конфигурацией, обеспечивающей мульти-сервисную, мульти-стандартную, мульти-режимную и мульти-диапазонную работу. Проектируемая вычислительная система, которая сможет получить потенциальные преимущества от наличия коммуникационных функций, оборудуется встроенными средствами радиообмена и сжатия информации.

Для большинства перспективных и существующих ТКС информационно-вычислительные и телекоммуникационные технологии не обеспечивают требуемого времени доведения необходимых объемов информационных потоков (задержка в несколько раз превышает допустимые значения и достигает нескольких десятков минут).

Следовательно, существует **противоречие**, заключающееся в том, что, с одной стороны, требуется сокращать время доведения, распределения, обработки и анализа информации, а с другой - необходимо повышать степень полноты, достоверности и качества получаемой информации, откуда следует увеличение объемов данных.

Основные причины увеличения времени обработки и передачи информации:

- резкое повышение и нестационарность

информационного трафика, объемов информационных потоков;

- ограниченная скорость передачи и распределения данных в телекоммуникационных системах;

- большое взаимное пространственное расположение отдельных уровней ТКС.

Снижение суммарного времени на обработку и передачу информации заключается в использовании подсистем компактного представления данных с заданной степенью достоверности.

Однако анализ существующих технологий компактного представления выявил, что [20, 77, ]:

- они **не обеспечивают** своевременную передачу реалистических изображений и файлов, содержащих документы, представленные в графических форматах, исходный объем которых превышает **10 Мбит**. Суммарное время на обработку и передачу данных изменяется от нескольких десятков секунд до нескольких часов;

- существующие технологии архивирования данных обеспечивают незначительное сжатие до **2** раз для файлов формата bmp. Для файлов форматов jpeg в результате архивации происходит увеличение первоначальных объемов в среднем на **2%**.

Значит, существующие технологии компактного представления не обеспечивают степени сжатия данных, полученных от различных источников информации, которая требуется для своевременного доведения информации.

Проблемный анализ процессов функционирования существующих технологий компактного представления показал, что технологии, обеспечивающие обработку

различных типов данных без потери информации, реализуются на основе различных типов архиваторов. Основными недостатками существующих архиваторов являются:

- сильная зависимость степени сжатия данных от количества и размеров областей, содержащих одинаковые элементы, от степени неравномерности распределения вероятности появления символов алфавита;

- то, что отдельные этапы обработки данных в архиваторах совпадают с этапами обработки данных на основе технологий сжатия создания графических форматов.

Следовательно, архивация файлов, полученных с выхода кодеров статических, динамических изображений, приводит к увеличению первоначального объема; низкая помехоустойчивость кодовых комбинаций - к ошибкам в канале связи [32, 49]. Это обусловлено сильной степенью размножения ошибок в канале связи на значительную часть восстанавливаемых данных.

Значит, для повышения степени сжатия и сохранения заданной степени достоверности создаваемая технология компактного представления данных от различных источников информации должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) организовывать процесс сжатия данных на основе устранения структурной избыточности в двоичных последовательностях;

- 2) учитывать в процессе сжатия структурные закономерности, имеющиеся для двоичных данных с произвольными статистическими характеристиками. К таким



структурным характеристикам относится число серий единиц.

Отсюда следует, что разработка методов компактного представления двоичных данных в ТКС на основе устранения структурной избыточности для повышения степени сжатия является актуальной тематикой научно-прикладных исследований.

**Цель исследований** состоит в уменьшении времени сжатия, восстановления и передачи двоичных данных в телекоммуникационных системах.

Это позволит:

- снизить степень интенсивности информационного трафика в неоднородных мультисервисных ТКС;
- сократить количество передаваемых пакетов данных;
- снизить загрузку каналов связи;
- уменьшить очередь пакетов на обработку и передачу;
- уменьшить количество теряемых пакетов данных;
- сократить количество повторно-передаваемых пакетов;
- повысить производительность ТКС в целом.

**Научно-прикладная задача** – разработка методов кодирования и восстановления двоичных данных, обеспечивающих гарантированное повышение коэффициента сжатия, на основе сокращения структурно-комбинаторной избыточности без внесения ошибок для уменьшения времени сжатия, восстановления и передачи данных в телекоммуникационных системах.

Следовательно, тематика исследования, посвященная разработке методов кодирования и восстановления двоичных данных,

обеспечивающих гарантированную степень сжатия без внесения ошибок и повышение коэффициента компактности представления информации, является актуальной.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Работа выполнена в рамках:

- Концепції розвитку зв'язку України до 2010 року (постановление Кабинета Министров Украины от 9.12.99 г. № 2238).

- закон Украины «Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008-2012 роки» от 30.09.08 № 608-VI.

- закон Украины «Про Національну програму інформатизації України» от 04.02.98 №74/98-ВР.

- Планов НИР ХУВС и ХНУРЭ.

Основные результаты диссертационной работы нашли отражение в отчете о НИР: "Розробка методів обробки інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах" (шифр "Тор-1", ГР № 0101U000615; Інв.№15866).

**Цель и задачи исследований** - уменьшение времени сжатия, восстановления и передачи двоичных данных в телекоммуникационных системах. Для достижения поставленной цели необходимо:

- обосновать возможность дополнительного повышения степени сжатия двоичных данных с произвольными статистическими характеристиками;

- разработать метод сжатия двоичных данных на основе сокращения структурно-комбинаторной избыточности без внесения ошибок;

- создать метод восстановления двоичных данных, позволяющий снизить суммарное количество операций

обработки на базе выявления структурных особенностей кодовых конструкций;

- разработать метод оценки степени сжатия двоичных данных и временных параметров построенных алгоритмов;

- построить программные и аппаратные средства реализации методов кодирования и восстановления двоичных данных;

- создать модель процессов имплементации в силиконовый кристалл предложенных методов, верификации и тестирования программных и аппаратных компонентов цифровой системы сжатия и восстановления данных.

**Объект исследования.** Процессы кодирования и восстановления данных в телекоммуникационных системах.

**Предмет исследования.** Методы кодирования и восстановления двоичных данных в телекоммуникационных и цифровых системах реального времени, ориентированные на гарантированное повышение степени сжатия и существенное уменьшение времени обработки данных.

**Методы исследования:** теория сложных систем – для анализа характеристик процессов функционирования телекоммуникационных систем; теория структурного анализа – для исследования свойств различных видов цифровых данных; теория вероятностей и математическая статистика – для решения задач разработки методов кодирования и восстановления двоичных данных; комбинаторный анализ и статистическая теория связи – для разработки модели оценивания информативности двоичных массивов и временных параметров алгоритмов их обработки; техническая диагностика, логическое моделирование и языки описания аппаратуры – для

аппаратной реализации методов кодирования и восстановления двоичных данных; языки программирования – для программно-аппаратной реализации методов кодирования и восстановления двоичных данных.

**Научная новизна полученных результатов.** Новизна полученных научных результатов состоит в том, что:

1. Впервые разработан метод сжатия данных на основе структурно-каскадного кодирования, отличающийся от известных методов тем, что обеспечивается сокращение структурно-комбинаторной избыточности. Это позволяет дополнительно увеличить степень сжатия данных без внесения погрешности.

2. Впервые создан метод восстановления двоичных данных на основе структурно-каскадного декодирования, учитывающий, в отличие от других методов, двух каскадную структуру двоичных массивов. Это позволяет восстановить данные без внесения погрешности и без использования дополнительной служебной информации.

3. Впервые построено быстрое структурно-каскадное декодирование, которое в отличие от других методов основывается на учете структурных зависимостей в двоичных массивах. Это позволяет сократить количество операций на восстановление данных без внесения погрешности.

4. Получила дальнейшее развитие модель оценки информативности двоичных массивов, которая в отличие от других комбинаторных подходов учитывает ограничения на число серий единиц. Это позволяет определить среднее значение и минимальную границу степени компрессии двоичных данных.

**Научное значение полученных результатов** состоит в дальнейшем развитии теории информации в области кодирования и восстановления двоичных данных, заключающемся в:

- впервые полученном методе каскадного структурного кодирования, обеспечивающего гарантированное минимальное значение степени сжатия без внесения ошибок;

- впервые полученном методе восстановления каскадных структурных чисел с заданной степенью достоверности;

- впервые полученной методике досрочного восстановления двоичных массивов на основе учета свойств каскадных структурных кодовых конструкций, состоящих в получении информации о не восстановленных двоичных последовательностях на базе данных о структурных характеристиках декодируемых кодов.

#### **Практическое значение полученных результатов.**

1. Программные и аппаратные средства реализации методов кодирования и восстановления двоичных данных имплементированы в кристалл FPGA компании XILINX, что обеспечивает:

- минимальное гарантированное значение степени сжатия не ниже **10%**;

- коэффициент сжатия в среднем от **1,5** до **2 раз** в зависимости от класса обрабатываемых двоичных данных;

- выигрыш по степени компрессии по сравнению с существующими методами в среднем на **30 - 70%** в зависимости от источника двоичных последовательностей.

2. Построенная методика быстрого восстановления каскадных структурных чисел позволяет:

1) при восстановлении **8** элементарных двоичных последовательностей затратить меньшее количество операций, чем для стандартной схемы обработки на: **27,5%** операций сложения (вычитания), **77,7%** операций умножения, **44,5%** операций деления и **48%** операций сравнения;

2) для вычислительной системы, имеющей следующие характеристики относительно количества выполняемых типовых операций в с.:  **$10^7$**  (оп.сл./с),  **$0,3 \times 10^7$**  (оп.умн./с),  **$10^6$**  (оп.дел./с) и  **$0,5 \times 10^7$**  (оп.срв./с), получено, что:

- среди методов обработки, которые по своим функциональным возможностям соответствуют требованиям ТКС, наименьшее время обработки достигается для каскадного структурного кодирования. В режиме восстановления с учетом технологии досрочного декодирования средний выигрыш по времени обработки равен **49%** относительно методов арифметического кодирования и **56%** относительно каскадного структурного кодирования в режиме стандартного восстановления;

- благодаря параллельной обработке на основе свойства каскадности время обработки в среднем дополнительно снижается в **10 раз**, причем для данного режима восстановления с увеличением размера двоичного массива время обработки снижается в среднем на **12%**;

- время обработки двоичных последовательностей (произвольного содержания) объемом  **$1024 \times 1024$**  бит для универсальных вычислительных систем  **$n=8$**  равняется в

среднем **4,6 с** и **0,38 с**, соответственно для последовательного и параллельного восстановления. Это позволяет проводить восстановление двоичных массивов без внесения ошибок в реальном времени.

Результаты диссертации в виде программных и аппаратных средств используются в: ЗАО "СНВО "Импульс", Северодонецк (справка о внедрении от 9 сентября 2008 г.), ОАО «АО НИИРИ», Харьков (справка о внедрении от 9 сентября 2008 г.), а также в учебном процессе Харьковского национального университета радиоэлектроники на кафедре автоматизированного проектирования вычислительной техники (акт о внедрении от 15 сентября 2008 г.).

**Личный вклад автора** диссертационной работы в публикации, выполненные в соавторстве, заключается в следующем:

в статье [3] – построена графовая модель локальной вычислительной сети (ЛВС) для применения к ней метода поиска дефектов;

в статье [6] – сформирован подход к представлению двоичных последовательностей в виде одномерных структурных чисел с плавающим количеством элементов;

в статье [9] – разработана комбинаторная модель оценки информативности двоичных матриц данных;

в статье [10] – разработан метод восстановления двоичных данных без внесения погрешности в ТКС на основе одномерного плавающего структурного декодирования;

в статье [12] – создан метод компактного представления двоичных данных без внесения погрешности

на основе кодирования одномерных плавающих структурных чисел;

в статьях [11, 18] – созданы методологические основы двоичного каскадного структурного кодирования;

в статьях [31, 70] – разработана модель тестирования сложных программно-технических комплексов, ориентированная на решение задач диагностирования в реальном масштабе времени;

в статьях [69] – проведено решение задачи покрытия дефектных ячеек резервными элементами путем использования аппарата булевой алгебры;

в статье [72] – проведен обзор рыночных тенденций создания современных мобильных цифровых систем;

в статье [74] – разработана методика для построения методов кодирования и восстановления данных в ТКС и системах цифровой диагностики.

**Апробация диссертации.** Результаты практических и теоретических исследований, изложенные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на 9 международных научно – технических конференциях. В том числе:

– Материалы 7-го Международного молодежного форума "Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке". – Харьков, 22-24 апреля 2003 г.;

– Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке: материалы 8-го Международного молодежного форума. – Харьков, 13-15 апреля 2004 г.;

– Современные информационные и электронные технологии: труды пятой межд. науч.-практ. конф., Одесса, 17-21 мая 2004г.;



- Материалы первой международной научной конференции «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития», Харьков – Туапсе, 3-6 октября, 2006 г.;

- XVIII International Conference "New leading Technologies in Machine Building". - Rybachie, Ukraine, September 3 - 8, 2008;

- TCSET ' 2008: proceedings of the International Conference, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19-23, 2008;

- IEEE East-West Design & Test International Symposium. Ukraine, Lviv, October 9 - 12, 2008;

- Третий международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (мрф-2008). Конференция «Телекоммуникационные системы и технологии» (тст-2008) Харьков, ХНУРЭ, 22 - 24 октября 2008г.;

- Материалы 8 межд. НТК «Проблемы информатики и моделирования». - Х: НАНУ, НТУ «ХПИ», 24-26 ноября 2008.

**Публикации.** По теме диссертации автором самостоятельно и в соавторстве опубликован **21** научный труд, среди которых **12** научных статей, **9** тезисов докладов, **1** отчет о НИР. При этом основные положения диссертации опубликованы в **7** статьях, из которых **6** написаны вместе с другими авторами, в **4** материалах и тезисах докладов на конференциях. Все статьи опубликованы в журналах и сборниках научных трудов, которые входят в перечень изданий, разрешенных ВАК Украины для публикаций материалов диссертации по техническим наукам.

## Список используемых источников

1. Аллен Дж. Архитектура вычислительных устройств для цифровой обработки сигналов / Дж. Аллен // ТИИЭР. – 1985. – №5. – С. 4 – 29.
2. Асташкин А.А. Космические системы, аппараты и приборы для решения задач природоиспользования и экономического контроля / А.А. Асташкин. – М.: ВИНТИ, 1991. – 142 с.
3. Бабич А.В. Структурный метод поиска дефектов в сегменте локальной вычислительной сети / А.В. Бабич, А.В. Хаханова, Г.Ф. Кривуля // АСУ и приборы автоматики. – 2003. Вып. 122. – С. 8 – 15.
4. Бабкин В.Ф. Проблемы сокращения описания дискретных данных в вычислительных сетях / В.Ф.Бабкин, Ю.М. Штарьков // Вопросы кибернетики. – 1980. – №65. – С. 107 – 112.
5. Банкет В.Л. Цифровые методы в спутниковой связи / В.Л.Банкет, В.М.Дорофеев. – М, 1988.
6. Баранник В.В. Нумерація одновимірних плаваючих структурних чисел у двійковому просторі / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Системи озброєння та військова техніка. 2008. – № 2 (14). – С. 73 – 79.
7. Баранник В.В. Cascade Structural Encoding of Binary Arrays / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // IEEE East-West Design & Test International Symposium.- Lviv. – October 9 – 12, 2008. – P. 135 – 139.
8. Баранник В.В. Кодирование двоичных структурных чисел / В.В. Баранник, А.В. Хаханова, А.В. Коломийцев // Материалы 8 междун. НТК «Проблемы информатики и моделирования». – Х: НАНУ, НТУ «ХПИ», 24-26 ноября 2008 г. – С. 63.
9. Баранник В.В. Оценка информативности двоичных массивов на основе комбинаторного подхода / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Системи обробки інформації.

зб. наук. пр. Харк. ун-та повітр. сил.. – Вип. 6. – Х., 2008. – С. 11–13.

10. Баранник В.В. Метод восстановления двоичных одномерных плавающих структурных чисел / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Авіаційна космічна техніка та технологія. – 2008. – №4(51) – С. 84 – 86.

11. Баранник В.В. Метод восстановления каскадных структурных чисел / В.В. Баранник, А.В. Хаханова, А.Р. Кретив // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Вып. 2. – Х., 2008.– С. 162 – 168.

12. Баранник В.В. Метод одномерного плавающего структурного кодирования двоичных данных / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Зб. наук. праць Харк. ун-та повітр. сил. – Вип. 2(17). – Х., 2008.– С. 77 – 79.

13. Баранник В.В. Оценка помехоустойчивости двухпризнаковых структурных кодовых конструкций / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Системи обробки інформації. НАНУ, ХУПС. – Вип. 2. –Х., 2007. – С. 54– 60.

14. Баранник В.В. Оценка эффективности структурного кодирования двоичных данных в полиадическом пространстве / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №3. – С. 3 – 11.

15. Баранник В.В. Повышение эффективности процессов информационно-технической диагностики в ТКС / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Состояние и перспективы развития: тез. докл. третьего межд. радиоэл. форума «Прикладная радиоэлектроника». 22 – 24 октября 2008г. – Харьков, 2008. – С. 116–119.

16. Баранник В.В. Рекуррентное двухпризнаковое двоичное полиадическое кодирование / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Открытые

информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2006. Вып. 33. – С. 70-74.

17. Баранник В.В. Рекуррентное двухпризнаковое структурное полиадическое декодирование / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2006. – №3. – С. 78 – 82.

18. Баранник В.В. Стиснення двійкових структур на основі каскадного кодування у телекомунікаційних системах / В.В. Баранник, П.Ф. Поляков, А.В. Хаханова // Системи озброєння та військова техніка. – 2008. № 3 (15). – С. 153 – 156.

19. Баранник В.В., Хаханова А.В. Каскадное структурное восстановление двоичных данных / В.В.Баранник, А.В.Хаханова // XVIII International Conference «New Leading Technologies in Maching Building» .- Rybachie.- 2008.- С. 69.

20. Беллами Дж. Цифровая телефония / Дж. Беллами - М, 1986.- 320 с.

21. Бернанд С. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / С. Бернанд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.

22. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1989. – 448 с.

23. Васильев В.Н. Компьютерная обработка сигналов / В.Н. Васильев, И.П. Гуров. – СПб: БХВ – Санкт-Петербург, 1998. – 240 с.

24. Ватолин В.И. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / В.И. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

25. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384с.

26. Вишенчук И.М. Алгоритмические операционные устройства и супер – ЭВМ / И.М. Вишенчук. – К.: Техника, 1990. – 197 с.

27. Гавзов Д.В. Методы статистического кодирования информации в циклических системах телемеханики / Д.В. Гавзов // Микропроцессорные системы на железнодорожном транспорте. – Л.: ЛИИЖТ. – 1991. – С. 93 – 98.

28. Галлагер Р. Теория информации и надежности связи: пер. с англ. / Р. Галлагер; под ред. М.С. Пинскера и Б.С. Цыбакова. – М.: Сов. радио, 1974. – 720 с.

29. Герасимов Б.М. Человеко – машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.

30. Дмитриев В.И. Прикладная теория информации / В.И. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.

31. Елисеев В.В. Модели диагностирования иерархических систем на основе технологий граничного сканирования / В.В. Елисеев, В.И. Хаханов, А.Н. Парфентий, А.В. Хаханова // АСУ и приборы автоматики. – 2007. – № 1 (138). – С. 86–97.

32. Еремеев И.С. Устройства сжатия информации / И.С. Еремеев. – М.: Энергия, 1980. – 160 с.

33. Золотарев В.В. Коды и кодирование / В.В. Золотарев // Радиоэлектроника и связь. – М.: Знание, 1990. – № 9. – 62 с.

34. Из "Концепции создания сети связи МПС РФ с интеграцией услуг" назначение, необходимость разработки "Концепции..." – Мир связи. Connect. – 1998. – № 4. – С. 1 – 29.

35. Илюхин М.В. Повышение эффективности передачи информации в телемеханических системах циклического действия / М.В. Илюхин // Микропроцессорные системы на транспорте. – Л.: ЛИИЖТ. – 1991. – С. 49 – 53.

36. Інформатизація України. Концепція державної політики інформатизації. Основні напрями Національної програми інформатизації

України / під керівництвом В.С. Михалевича // Управляющие системы и машины. – 1994. – №4/5. – С.7 – 21.

37.Кларк Дж. мл. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: пер. с англ. / Дж. мл. Кларк, Дж. Кейн; под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Радио и связь, 1987. – 391 с.

38.Клюев Н.И. Информационные основы передачи сообщений / Н.И. Клюев. – М.: Сов. радио, 1966. – 360 с.

39.Концепція розвитку Єдиної Національної системи зв'язку України до 2010 року. – четверта редакція. – К.: Держкомзв'язок, 2001. – 310 с.

40.Корнеев В.В. Современные микропроцессоры / В.В. Корнеев, А.В. Киселев. – СПб.: БВХ-Петербург, 2003. – 448 с.

41.Королев А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Пашнев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.

42.Королев А.В. Способ быстрого кодирования двоичных данных / А.В. Королев // Системи обробки інформації. – 2002. – Вип. 6(22). – С. 3 – 8.

43.Королев А.В. Метод быстрого восстановления двоичных данных \_ А.В. Королев // Системи обробки інформації. – 2002. – Вип. 4(20). – С. 25-29.

44.Королев А.В. Помехоустойчивость полиадических кодов трансформант ДКП к ошибкам в канале связи / А.В. Королев, В.В. Баранник // Системи обробки інформації. – 2000. – Вип. 4(10). – С. 99- 103.

45.Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 151 с.

46.Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику / А. Кофман. – М.: Наука, 1975. – 317 с.

47. Краснобаев В.А. Метод стиску матриць даних в операційних пристроях інформаційно-керуючих систем реального часу на основі використання кодів модулярної арифметики / В.А. Краснобаев, М.С. Деренько, О.В. Зефірова // Системи озброєння та військова техніка. 2007. – № 1 (9). – С. 81 – 86.

48. Краснобаев В.А. Модели и методы повышения отказоустойчивости и производительности управляющих вычислительных комплексов специализированных систем управления реального времени на основе применения непозиционных кодовых структур модулярной арифметики: моногр. / В.А. Краснобаев, В.И. Барсов, Л.С. Сорока, Хери Али Абдуллах. – Х.: УИПА. 2008. – 147 с.

49.Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 2. Арифметическое кодирование / Д. Мастрюков // Монитор. – 1994. – №1. – С. 20 – 23.

50.Назаров Л.Е. Нейросетевой, фрактальный и JPEG алгоритмы сжатия / Л.Е. Назаров, З.Т. Назарова // Информационные технологии. – 2001. – №1. – С. 2 – 9.

51.Николаев Ф.А. Проблемы повышения достоверности в информационных системах / Ф.А. Николаев, В.И. Фолин, Л.М. Хохлачев – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 138 с.

52. Обризан В.И. Тенденции проектирования цифровых систем на рынке электронных технологий / В.И. Обризан, А.В. Хаханова, А.Н. Парфентий // Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке: материалы 8-го Международного молодежного форума. – Харьков, 13-15 апреля 2004 г. – С. 116.

53.Орищенко В.И. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / В.И. Орищенко, В.Г. Сонников, В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.

54.Осипов Л.А. Обработка сигналов на цифровых процессорах / Л.А. Осипов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 112 с.

55.Отображение информации в АСУ реального времени / Бондаренко В.П., Клименко А.Я., Пашук В.Ф. и др. – Томск: Изд. Томск. ун-та, 1993. – 160 с.

56. Параллельно-иерархический подход для обработки изображений / Тимченко Л.И., Грудин М.А., Кутаев Ю.Ф. и др. // Электрон. моделирование. – 1999. – №4. – С. 35 – 46.

57. Пивоваров А.М. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ / А.М. Пивоваров. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.

58. Поляков П.Ф. Широкополосные системы связи с составными сигналами / П.Ф. Поляков. – М.: Радио и связь, 1992. – 192 с.

59. Потапов В.Н. Теория информации. Кодирование дискретных вероятностных источников / В.Н. Потапов. – Н.: 1999. – 234 с.

60. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / Дж. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000. – 789 с.

61. Рабинер Л.Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Л.Р. Рабинер, Р.В. Шафер. – М.: Радио и связь, 1981.

62. Ревенко В.Н. Комплексы средств отображения информации / В.Н. Ревенко, В.М. Сегал. – М.: Радио и связь, 1985. – 216 с.

63. Сапожков М.А. Вокодерная связь / М.А. Сапожков, В.Г. Михайлов. – М.: Радио и связь, 1983.

64. Свириденко В.А. Анализ систем со сжатием данных / В.А. Свириденко. – М.: Связь, 1977. – 184 с.

65. Синепол В.С. Системы компьютерной видеоконференцсвязи / В.С. Синепол, И.А. Цикин. – М.: ООО “Мобильные коммуникации”, 1999. – 166 с.

66. Стеклов В.К. Транспортные сети и системы электросвязи / В.К. Стеклов, Н.Л. Бирюков. – К.: 2003. – 352 с.

67. Трофимов Б.Е., Куликовский О.В. Передача изображений в цифровой форме. – М.: Связь, 1980. – 130 с.

68. Фано Р. Передача информации. Статистическая теория связи / Р. Фано. – М.: Мир, 1965. – 316 с.

69. Хаханов В.И. Алгебро-логический метод ремонта встроенной памяти SOC / В.И. Хаханов, А.В. Хаханова,



Е.И. Литвинова // Научно-технический журнал «Радиоэлектронные и компьютерные системы». – 2008. – № 6. – С. 99-109.

70. Хаханов В.И. Анализ графовых структур для моделирования цифровых систем / В.И. Хаханов, С.В. Чумаченко, К.В. Колесников, А.В. Хаханова // Радиоэлектроника и информатика.– 2002.– №4. – С. 92-98.

71. Хаханов В.И. САПР и международный рынок электронных технологий / В.И. Хаханов, В.И. Обризан, Е.А. Каменюка, А.В. Хаханова // Современные информационные и электронные технологии: труды пятой межд. науч.-практ. конф., Одесса, 17-21 мая 2004г. – С. 137.

72. Хаханов В.И. САПР и международный рынок электронных технологий / В.И. Хаханов, В.И. Обризан, Е.А. Каменюка, А.В. Хаханова // Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – 2004. – Вып. 8. – С.4-13.

73. Хаханов В.И. Тестирование сложных цифровых систем управления критическими объектами / В.И. Хаханов, В.В. Елисеев, А.В. Хаханова, О.В. Мельникова // Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития: материалы первой международной научной конференции. – Харьков – Туапсе, 3-6 октября 2006 г. – С.40-41.

74. Хаханова А.В. Методика обоснования кодирования тестовой информации в системах цифровой диагностики / А.В. Хаханова // Системи управління, навігація і зв'язок. – 2008. – № 2 (00). – С. 141 – 144.

75. Хаханова А.В. Структурный анализ цифровых проектов в системе моделирования / А.В. Хаханова, Е.А. Каменюка, А.Н. Парфентий // Радиоэлектроника и молодежь

в 21 веке: материалы 7-го Международного молодежного форума. – Харьков, 22 – 24 апреля 2003 г. – С. 458.

76.Хэмминг Р.В. Теория кодирования и теория информации: пер. с англ. С.И. Гельфанда / Р.В. Хэмминг; под. ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.

77.Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях / В.С. Чернега. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. – 214 с.

78.Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностр. лит - ры, 1963. – 793 с.

79.Шульгин В.И. Основы теории передачи информации. Ч. 2. Помехоустойчивое кодирование: учеб. пособие / В.И. Шульгин; Мин-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т» – Харьков: Изд-во Нац. аэрокосм. ун-та «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 87 с.

80.Шульгин В.И. Основы теории передачи информации. Ч. I. Экономное кодирование : учеб. пособие / В.И. Шульгин; Мин-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т» – Харьков: Изд-во Нац. аэрокосм. ун-та «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 102 с.

81.Anantha M. ARQ protocols and unidirectional codes / M. Anantha, B. Bose, and L.G. Tallini // IEEE transaction on computers. -2007. - 4. - P. 433 -443.

82. Armstrong L. Video compression picture is clearing / L. Armstrong // Electronics. – 1978. – №11. – P. 96 – 97.

83.Bareisa Eduardas. Functional Digital Systems Testing / Eduardas Bareisa, Vacius Jusas, Kestutis Motiejunas, Rimantas Seinauskas // Kauno technologijos universitetas.– Technologia.– Kaunas.– 2006.– 281 p.

84. Barnsley M.F. Fractal Image Compression / M.F. Barnsley L.P. Hurd // A.K. Peters Ltd. Wellesley Massachusetts. – 1993.

85.Bayraktaroglu Ismet. The Construction of Optimal Deterministic Partitionings in Scan-Based BIST Fault Diagnosis: Mathematical Foundations and

Cost-Effective Implementations / Ismet Bayraktaroglu, Alex Orailoglu // IEEE Transactions on Computers. – 2005. – P.61–75.

86. Bell T. C. Text compression. Englewood Cliffs / T. Bell. – N. J.: Prentice – Hall. – C. 1990.

87. Benso Alfredo. A Hierarchical Infrastructure for SoC Test Management / Alfredo Benso, Stefano Di Carlo, Paolo Prinetto, Yervant Zorian // IEEE Design and Test of Computers. – 2003. – P. – 32-39.

88. Bentley J. L. A locally adaptive and data compression scheme / J. L. Bentley, D. Sleator, R. E. TarJan, V. K. Wei // Control and Computing: proceedings of the 22 Alterton Conference on Communication, Oct. 1984. – P. 233 – 242.

89. Bernardi Paolo. A New Hybrid Fault Detection Technique for Systems-on-a-Chip / Paolo Bernardi, Bolzani Leticia Maria Veiras, Maurizio Rebaudengo, Reorda Matteo Sonza, Fabian Luis Vargas, Massimo Violante // IEEE Transactions on Computers. – 2006. – P. 185 – 198.

90. Chandramouli R. Infrastructure IP design for repair in nanometer technologies / R. Chandramouli // IEEE Design and Test of Computers. – 2005. – P. 17.

91. Cleary J. G. Data compression using adaptive coding and partial string matching / J. G. Cleary, I. H. Witten // IEEE Transactions on Communication. – 1984. – V. 32, № 4. P. 396–402.

92. Coifman R.R. Entropy-based algorithms for best basis selection / R.R. Coifman, M.V. Wickerhauser // IEEE Trans. on Inf. Theory. – 1992. – Vol. 38, №2. – P. 713–718.

93. Davidson S. Guest editors' introduction: progress in Test Compression / S. Davidson and Nur A. Toubia // IEEE Design & Test of Computers. – 2008. – P. 112 – 113.

94. Densmore Douglas. A Platform-Based taxonomy for ESL design. / Douglas Densmore, Roberto Passerone, Alberto Sangiovanni-Vincentelli // Design & Test of computers. - 2006. - P. 359 - 373.

95. DeVore R.A. Image compression through wavelet transform coding / R.A. DeVore, B. Jawerth, B.J. Lucier // IEEE Trans. on Inf. Theory. - 1992. - Vol. 38, №2. - P. 719-746.

96. Donoho D.L. De-noising by soft - thresholding / D.L. Donoho // IEEE Trans. on Inf. Theory. - 1995. - Vol. 41, №3. - P. 613-627.

97. Donoho D.L. Wavelet shrinkage: asymptotia / D.L. Donoho, I.M. Johnstone, G. Kerkyacharian, D. Picard // Jour. Roy. Stat. Soc. - 1995. - Series B. Vol. 57, №2. - P. 301-369.

98. Elias P. Interval and recency rank source encoding: two on-line adaptive variable-rate schemes / P. Elias // IEEE Transactions on Information Theory, IT-33. - 1987. - № 1. - P. 3 - 10.

99. Fiala E.R. Data compression with finite windows / E.R. Fiala and D.H. Greene // Greene Communication of the ACM. - 1989. - V. 32. - P. 490-505.

100. Foster H. Assertions-based Design / H. Foster, A. Krolnik, D. Lacey // Kluwer Academic Publishers. - 2003. - 392 p.

101. Gallager R. G. Variation on a theme by Huffman / R. G. Gallager // IEEE Transactions on Information Theory, IT-24. - 1978. - № 6. - P. 668 - 674.

102. Gallager R. G., VanVoorhis D. C. Optimal source codes for geometrically distributed integer alphabets / R. G. Gallager, D. C. VanVoorhis // IEEE

Transactions on Information Theory, IT-21. - 1975. - № 2. - P. 228 - 230,

103. Gerber Richard. The Software Optimization Cookbook / Richard Gerber, Aart J.C. Bik, Kevin B. Smith, Xinmin Tian. Intel Press. - 2006. - 430 p.

104. Ghenassia Frank. Transaction Level Modeling with SystemC. TLM Concepts and Applications for Embedded Systems. / Frank Ghenassia // Published by Springer. - 2005. - 282 p.

105. Gunaratne C. Reducing the energy consumption of Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR) / C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman, and S. Suen // IEEE transaction on computers. - 2008. - 4. - P. 448 - 461.

106. Hahanov Vladimir. Technologies for hardware simulation and verification / Vladimir Hahanov, Anna Hahanova, Volodymyr Obrizan, Konstantin Zaharov // TCSET ' 2008: proceedings of the International Conference, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19-23, 2008. - P. 560-564.

107. Howard P. G. The design and analysis of efficient lossless data compression systems / P. G. Howard // Report CS-93-28, Dept. of Comp. Sci. - 1993. - Brown University. - Providence. - Rhode Island.

108. Jacobs E.W. Image compression: A study of the iterated transform method / Jacobs E.W., Y. Fisher, R.D. Boss // Signal Processing. - 1992. - №29. - P. 251-263.

109. Kapur R. Historical perspective on scan compression / R. Kapur, S. Mitra, Th. W. Williams // IEEE Design & Test of Computers. - 2008. - P. 114 - 121.

110. Kee Sup Kim. Hierarchical test compression for SoC designs / Sup Kim Kee and Zhang Ming // IEEE Design & Test of Computers. - 2008. - P. 142 - 149.

111. Krichevsky R. E. The performance of universal encoding / R. E. Krichevsky, V. K. Trofimov // IEEE Transactions on Information Theory. - 1981. Vol. 27, N 2. - P. 199-207.

112. Kuduvalli G.R. Performance analysis of reversible image compression techniques for high - resolution digital teleradiology / G.R. Kuduvalli and R.M. Rangayyan // IEEE Trans. Med. Imaging. - 1992. - Vol. 11. - P. 430 - 445.

113. Lim S.S. TPF: TCP plugged file system for efficient data delivery over TCP / S.S. Lim and K.H. Park // IEEE transaction on computers. - 2007. - 4. - P. 459 - 473.

114. Mallat S. A. Theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation / S. A. Mallat // IEEE Pattern Anal. and Machine Intell. - 1989. - Vol. 11, №7. - P. 674 - 693.

115. Meyer A.S. Principles of Functional Verification / A.S. Meyer // Elsevier Science. - 2004. - 206 p.

116. Nelson M. The Data Compression Book / M. Nelson. - USA: M&T Publishing. - 1991. - P. 45 - 50.

117. Novak Ondrej. Handbook of testing electronic systems / Ondrej Novak, Elena Gramatova, Raimund Ubar // Czech Technical University Publishing House. - 2005. - 402 p.

118. Raik J. A New Testability Calculation Method to Guide RTL Test Generation / J. Raik, T. Nommeots, R. Ubar // JOURNAL OF ELECTRONIC TESTING: Theory and Applications. - №21. - 2005. - P. 71-82.

119. Rashinkar P. System-on-chip Verification: Methodology and Techniques / P. Rashinkar, P. Paterson, L. Singh // Kluwer Academic Publishers. – 2002. – 393 p.

120. Rei-Fu. Economic Aspects of Memory Built-in Self-Repair / Rei-Fu, Chao-Hsun Chen, Cheng-Wen Wu // IEEE Design and Test of Computers. – 2007. – P. 164 – 172.

121. Rissanen J. J. Universal coding, information, prediction, and estimation / J. J. Rissanen // IEEE Transactions on Information Theory. – 1984. – Vol. 30, № 4. – P. 629 – 636,

122. Sinanoglu O. Compacting test responses for deeply embedded SoC cores / O. Sinanoglu and A. Orailoglu // IEEE Design & Test of Computers. – 2003. – P. 22 – 31.

123. Storer J.A. Data Compression :Methods and Theory. USA / J.A.Storer // Computer Science Press. – 1988. – № 6. – P.23–36.

124. Wallace G.K. The JPEG Ctil Picture Compression Standard / G.K. Wallace // Communication of the ACM. – 1991. – №4.

125. Wohl P. Efficient Compression and Application of Deterministic Patterns in a Logic BIST Architecture / P. Wohl, J. A. Waicukauski, S. Patel, M. B. Amin // Proc. Design Automation Conference.– Anaheim: IEEE Inc.– 2003.– P. 566-569.

126. Zandi. CREW: Compression with reversible embedded wavelets / Zandi, J. Allen, E. Schwartz and M. Boliek // IEEE Data Compression Conference, (Snowbird, Utah). – 1995. – P.212–221.

127. Zhong Y. Miss Rate Prediction Across Program Inputs and Cache Configurations / Y. Zhong, S.G. Dropsho, X. Shen, A. Studer, C. Ding // IEEE

Transactions on Computers. - 2007. - P. 328 c 343.

128. Ziv J. A universal algorithm for sequential data compression / J. Ziv, A. Lempel // IEEE Transactions on Information Theory. -1977. -Vol. 23, № 3. - P. 337 - 343.

129. Ziv J. Compression of individual sequences via variable-rate coding / J. Ziv, A. Lempel // IEEE Transactions on Information Theory. - 1978. - Vol. 24, № 5. - P. 530 - 536.

130. Zorian Yervant. Gest editors' introduction: Design for Yield and reliability / Yervant Zorian, Dmytris Gizopoulos // IEEE Design & Test of Computers. -2004. -P. 177 -182.