

Міністерство транспорту та зв'язку України
Українська державна академія залізничного транспорту

ХАХАНОВА ГАННА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 658.512.011:681.326:519.713.629.391

**СТРУКТУРНО-КАСКАДНІ МЕТОДИ
СТИСНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДАНИХ
У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Бараннік Володимир Вікторович,
провідний науковий співробітник наукового центру,
Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана
Кожедуба Міністерства оборони України, м. Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович, професор
кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Власенка Міністерства
аграрної політики України, м. Харків;

кандидат технічних наук
Красноруцький Андрій Олександрович,
доцент кафедри бортового обладнання
та аерокосмічної розвідки, Харківський університет
повітряних сил ім. Івана Кожедуба Міністерства
оборони України, м. Харків.

Захист відбудеться “ ___ ” _____ 2009 року о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.01 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “ ___ ” _____ 2009 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Приходько С.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасна телекомунікаційна мережа (ТКМ) являє собою інфраструктуру взаємопов'язаних програмно-керованих цифрових обчислювачів з функціями приймачів-передавачів стиснутої інформації, розосереджених у просторі. Компонентами інфраструктури є потужні комп'ютери та цифрові системи на кристалах, орієнтовані як на проводові, так і на безпроводові технології обміну даними з зовнішнім світом в реальному масштабі часу завдяки застосуванню фільтрів. Практично вже відбувся інтеграційний процес взаємопроникнення між телекомунікаційними, комп'ютерними та радіотехнічними системами та мережами. Стало можливим забезпечити спільне проектування програмно-апаратних компонентів цифрових, аналогових, радіочастотних і мішаних систем, що імплементуються у силіконовий кристал. Спеціалізовані обчислювальні пристрої, інтегровані у систему на кристалі (SoC – System-on-Chip), містять приймач-передавач; процесор; пам'ять; порти уведення-виведення; аналого-цифрові, цифро-аналогові перетворювачі, а також кодеки-фільтри для стиснення та відновлення інформації. Тому SoC розглядається як обчислювальний, теле- й радіотехнічний пристрій, що функціонує під керуванням програмного забезпечення, яке на 90% створює та визначає функціональність електронного виробу. З іншого боку, розвиток мікроелектроніки, удосконалення радіочастотних і мікропроцесорних компонентів дають можливість створення більш інтелектуальних, гнучких, програмно-керованих і універсальних радіопристроїв з гнучкою конфігурацією, що забезпечує мульти-сервісну, мульти-стандартну, мульти-режимну та мульти-діапазонну роботу. Проектована обчислювальна система, яка зможе отримати потенціальні переваги від наявності комунікаційних функцій, оснащується убудованими засобами стиснення інформації. Однак, існуючі технології стиснення не забезпечують необхідного рівня за ступенем стиску, часом обробки й пересилання даних у ТКМ. Тому необхідно суттєво зменшити час стиснення, відновлення та передачі двійкових даних для телекомунікаційних і тестових систем, функціонуючих в реальному масштабі часу. Отже, тематика дослідження, яка пов'язана з розробкою методів кодування та відновлення двійкових даних, що забезпечують гарантований ступінь стиснення без внесення помилок та підвищення коефіцієнта компактності представлення інформації, є актуальною.

Суттєвий внесок у розвиток технології стиснення даних внесли вчені: Олександров В.В., Бабкин В.Ф., Глазризов Г.Л., Горський Н.Д., Зубарев Ю.М., Корольов А.В., Котельников В.А., Красильников Н.Н., Кричевський Р.Е., Рябко Б.Я., Свириденко В.А., Штарьков Ю.М. та ін. Серед закордонних дослідників найбільший вклад внесли Барнслі М., Девиссон Л.Д., Джайн А.К., Зив Дж., Кунт М., Прэтт У.К., Шеннон К., Хартлі Р.Л., Хаффман Д.А., Хеммінг Р.В.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконано в рамках: 1) Концепції розвитку зв'язку України до 2010 року (постанова Кабінету Міністрів України від 9.12.99 р. № 2238); 2) Закону України

«Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 20008-2012 роки» от 30.09.08 № 608-VI; 3) Закону України «Про Національну програму інформатизації України» от 04.02.98 № 74/98-ВР; 4) планів НДР ХУПС і ХНУРЕ.

Основні результати дисертаційної роботи знайшли відображення у звіті про НДР: “Розробка методів обробки інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах” (шифр “Тор-1”, ГР № 0101U000615; Інв. № 15866).

Мета дослідження – зменшення часу стиску, відновлення й передачі двійкових даних для телекомунікаційних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- обґрунтувати можливість додаткового підвищення ступеня стиснення двійкових даних з довільними статистичними характеристиками;
- розробити метод стиснення двійкових даних на основі скорочення структурно-комбінаторної надмірності без внесення помилок;
- створити метод відновлення двійкових даних, що дозволяє зменшити сумарну кількість операцій обробки за рахунок виявлення структурних особливостей кодових конструкцій;
- розробити метод оцінки ступеня стиску двійкових даних і часових параметрів побудованих алгоритмів;
- побудувати програмні та апаратні засоби реалізації методів кодування та відновлення двійкових даних;
- створити моделі процесів імплементації у силіконовий кристал запропонованих методів, верифікація й тестування програмних і апаратних компонентів цифрової системи стиснення та відновлення даних.

Об’єкт дослідження – процеси кодування та відновлення даних у телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження – методи кодування та відновлення двійкових даних у телекомунікаційних і цифрових системах реального часу, орієнтовані на гарантоване підвищення ступеня стиснення та суттєве зменшення часу обробки даних.

Методи дослідження: теорія складних систем – для аналізу характеристик процесів функціонування телекомунікаційних; теорія структурного аналізу – для дослідження властивостей різних видів цифрових даних; теорія ймовірностей і математична статистика – для вирішення задач розробки методів кодування та відновлення двійкових даних; комбінаторний аналіз і статистична теорія зв’язку – для розробки моделі оцінки інформативності двійкових масивів і часових параметрів алгоритмів їх обробки; технічна діагностика, логічне моделювання та мови опису апаратури – для апаратної реалізації методів кодування та відновлення двійкових даних; мови програмування – для програмно-апаратної реалізації методів кодування та відновлення двійкових даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Новизна отриманих наукових результатів полягає в тому, що:

- вперше розроблено метод стиснення даних на основі структурно-

каскадного кодування, що відрізняється від відомих методів тим, що забезпечується скорочення структурно-комбінаторної надмірності. Це дозволяє збільшити ступінь стиснення даних без внесення похибки;

– вперше створено метод відновлення двійкових даних на основі структурно-каскадного декодування, що враховує, на відміну від інших методів, двокаскадну структуру двійкових масивів. Це дозволяє відновлювати дані без внесення похибки та без використання додаткової службової інформації;

– вперше побудовано швидке структурно-каскадне декодування, що на відміну від інших методів, ґрунтується на обліку структурних залежностей у двійкових масивах. Це дозволяє зменшити кількість операцій на відновлення без внесення похибки;

– отримала подальший розвиток модель оцінки інформативності двійкових масивів, що на відміну від існуючих комбінаторних підходів враховує обмеження на кількість серій одиниць. Це дозволяє визначити середнє значення та мінімальну границю ступеня компресії двійкових даних.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Програмні та апаратні засоби реалізації методів кодування та відновлення двійкових даних у телекомунікаційних і цифрових системах імплементовано в кристал FPGA компанії XILINX, що забезпечує: мінімальне гарантоване значення ступеня стиснення не нижче 10%; коефіцієнт стиснення у середньому від 1,5 до 2 разів у залежності від класу оброблюваних двійкових даних; виґраш за ступенем компресії у порівнянні з існуючими методами у середньому 30 - 70% в залежності від джерела двійкових послідовностей.

2. Побудована методика швидкого відновлення каскадних структурних чисел дозволяє:

1) при відновленні 8 елементних двійкових послідовностей затратити меншу кількість операцій, ніж кількість операцій для стандартної схеми обробки на: 27,5% операцій додавання (вирахування), 77,7% операцій множення, 44,5% операцій розподілу й 48% операцій порівняння.

2) для обчислювальної системи, що має наступні характеристики щодо кількості виконуваних типових операцій у с: 10^7 (оп. дод./с), $0,3 \times 10^7$ (оп. мн./с), 10^6 (оп. розп./с) і $0,5 \times 10^7$ (оп. пор./с), отримано, що:

- серед методів обробки, які по своїх функціональних можливостях відповідають вимогам ТКС, найменший час обробки досягається для каскадного структурного кодування. У режимі відновлення з урахуванням технології дострокового декодування середній виґраш за часом обробки дорівнює 49% щодо методів арифметичного кодування й 56% щодо каскадного структурного кодування в режимі стандартного відновлення;

- за рахунок паралельної обробки на основі каскадності час обробки у середньому додатково зменшується у 10 разів, причому для даного режиму

відновлення зі зростанням розміру двійкового масива час обробки зменшується у середньому на 12%;

- час обробки двійкових послідовностей (довільного змісту) обсягом 1024×1024 біт для універсальних обчислювальних систем $n=8$ дорівнює у середньому 4,6 с та 0,38 с, відповідно для послідовного й паралельного відновлення. Це дозволяє відновлювати двійкові масиви без внесення помилок у реальному масштабі часу.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень підтверджується коректністю викладення моделей та методів стиснення й відновлення двійкових даних, статистичною адекватністю результатів за ступенем стиснення та часом обробки, отриманих на базі теоретичних моделей та в ході проведення тестових експериментів на апаратній реалізації запропонованих моделей та методів, імплементованих у кристал XILINX, теоретичним та експериментальним обґрунтуванням того, що забезпечується взаємнооднозначна відповідність відновлення двійкових даних вихідним даним, а також впровадженням програмних і апаратних засобів реалізації методів кодування та відновлення двійкових даних у технологічний процес інформаційного обміну в телекомунікаційних і цифрових системах.

Результати дисертації у вигляді програмних і апаратних засобів використовуються у: ЗАТ “СНВО “Імпульс”, Северодонецьк (довідка про впровадження від 9 вересня 2008 р.), ВАТ “АТ НДІРВ”, Харків (довідка про впровадження від 9 вересня 2008 р.), а також у навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки на кафедрі автоматизованого проектування обчислювальної техніки (акт про впровадження від 15 вересня 2008 р.).

Особистий внесок автора дисертаційної роботи в публікації, виконані в співавторстві, полягає в наступному: [1, 4] – розроблена модель тестування складних програмно-технічних комплексів, орієнтована на вирішення задач діагностування компонент ТКМ у реальному масштабі часу; [2] – побудована графова модель локальної обчислювальної мережі (ЛІОМ), орієнтована на використання методу пошуку дефектів; [3] – проведено огляд ринкових тенденцій створення сучасних мобільних цифрових систем; [5] – проведено розв’язання задачі покриття дефектних комірок резервними елементами шляхом використання апарату булевої алгебри; [6] – розроблена комбінаторна модель оцінки інформативності двійкових матриць даних; [7] – розроблена методика побудови методів кодування та відновлення даних в ТКМ та системах цифрової діагностики; [8] – розроблено метод відновлення двійкових даних без внесення похибки в ТКМ на основі одновимірного плаваючого структурного декодування; [9] – сформовано підхід до подання двійкових послідовностей у вигляді одновимірних структурних чисел з плаваючою кількістю елементів; [10] – створено метод компактного представлення двійкових даних без внесення похибки на основі кодування одновимірних плаваючих структурних чисел; [11, 12] – створені методологічні основи двійкового каскадного структурного кодування.

Апробація результатів дисертації. Здійснювалась на конференціях, що мають

безпосереднє відношення до теми дисертаційної роботи: 1) 7-й міжнародний молодіжний форум “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”, Харків, Україна, 2003; 2) 8-й міжнародний молодіжний форум “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”, Харків, Україна, 2004; 3) П’ята міжнародна науково-практична конференція “Современные информационные и электронные технологии”, Одеса, Україна, 2004; 4) Перша міжнародна наукова конференція “Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития”, Харків, Україна, 2006; 5) XVIII International Conference “New Leading Technologies in Machine Building”. – Rybachie, Ukraine, September 3–8, 2008; 6) International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2008, Lviv-Slavske, Ukraine; 7) Третій міжнародний радіоелектронний форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития”. Конференция “Телекоммуникационные системы и технологии”, Харків, Україна, 2008; 8) 8-а міжнародна науково-технічна конференція “Проблемы информатики и моделирования”, Харків, Україна, 2008; 9) IEEE East-West Design & Test International Symposium, Ukraine, Lviv, October 9–12, 2008.

Публікації. Результати наукових досліджень відображено у 21 друкованій праці. До них входять 12 статей, опублікованих у наукових виданнях, включених до Переліків ВАК України, а також 9 матеріалів наукових конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить 217 сторінок, 20 рисунків, серед яких 4 сторінки займають рисунки без тексту, 9 таблиць, серед яких 2 таблиці на окремих сторінках без тексту. Її структура містить: вступ, 4 розділи, 16 підрозділів, висновки, список використаних джерел з 130 назв (на 13 с.), 2 додатки (на 46 с.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності науково-прикладної задачі, що розв’язується, формулювання мети, об’єкта та задач дослідження, сукупність наукових результатів, що виносяться на захист, відомості про їх апробацію та реалізацію.

Перший розділ присвячено розгляду питань, що стосуються методів компактного представлення двійкових даних у телекомунікаційних і цифрових системах на основі усунення структурної надмірності для підвищення ступеня стиснення. Виявлено протиріччя між необхідністю зменшення часу інформаційного обміну, стиснення, відновлення й аналізу даних з одного боку та підвищенням ступеня повноти, достовірності та якості отриманої інформації з іншого. Розв’язання зазначеного протиріччя неминучо приводить до введення надлишковості у структури даних. Показано, що розробка методів кодування та відновлення двійкових даних з довільними статистичними характеристиками на основі зменшення структурно-комбінаторної надмірності без внесення помилок для гарантованого підвищення ступеня стиснення та суттєвого зменшення часу обробки даних дозволяє підвищити продуктивність телекомунікаційних і цифрових систем. Сформульовано критерій ефективності процесу компактного подання даних.

У другому розділі запропоновано метод структурного аналізу двійкових

масивів на основі плаваючого одновимірного структурного кодування та модель оцінки інформативності двійкових масивів.

Двійкові матриці $G = \{g_{k\ell}\}$, де $g_{k\ell}$ – $(k; \ell)$ -й елемент матриці, мають низьку надмірність R_{CT} , що визначається на основі урахування статистичних закономірностей. Тому запропоновано виявляти закономірності на основі характеристик кількості серій η .

Кількість інформації H у двійкових послідовностях з урахуванням обмежень, що аналізуються, повинна задовольняти таким вимогам:

1) кількість інформації на один елемент для розробленої моделі повинна бути меншою, ніж для джерела інформації у випадку статистичної моделі:

$$H_{\text{разр}} < H_{CT},$$

2) величина H для довільних значень характеристики, що аналізується, η повинна бути меншою одиниці:

$$\max_{\eta_{\min} \leq \eta \leq \eta_{\max}} \{H\} < 1,$$

де η_{\min} , η_{\max} – відповідно мінімальне та максимальне значення величини η .

Кількість $V_{v,\eta}$ двійкових послідовностей G_v , що містять v елементів та η серійних перепадів, дорівнює $V_{v,\eta} = \frac{(v+1)!}{(2\eta)!(v+1-2\eta)!}$. Кількість інформації H , що в середньому припадає на один елемент двійкової послідовності з η серіями одиниць, дорівнює

$$H = \frac{\log_2 V_{v,\eta}}{v} = \frac{\sum_{\xi=1}^{v+1} \log_2 \xi - \sum_{\xi=1}^{2\eta} \log_2 \xi - \sum_{\xi=1}^{v+1-2\eta} \log_2 \xi}{v}.$$

Показано, що двійкова матриця має комбінаторну надмірність, обумовлену обмеженнями на кількість серій одиниць.

Введено поняття плаваючого структурного числа з обмеженою кількістю серій одиниць. Одновимірним плаваючим структурним числом (ОПСЧ) $G^{(v)}$ називається одновимірна послідовність $G^{(v)} = \{g_{k\ell}\}$:

$$G^{(v)} = \left\langle \{g_{\xi\eta}\}_{\xi=1, m'}, \{g_{k\ell}\}_{k=1, n, \ell=\gamma+1, n'}, \{g_{k, n'+1}\}_{k=1, m''} \right\rangle,$$

для якої: 1) кількість серій одиниць дорівнює η ; 2) кількість v компонент у послідовності є змінною.

Код-номер ОПСЧ, у якого початкова компонента має координати $(\xi; \gamma)$, дорівнює

$$C_v = \sum_{k=1}^v g_{k\ell} P_{k\ell} = \sum_{k=\xi}^n g_{k\gamma} P_{k\gamma} + \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=\gamma+1}^{n'} g_{k\ell} P_{k\ell} + \sum_{k=1}^{m''} g_{k, n'+1} P_{k, n'+1},$$

де C_v – значення кода-номера для одновимірного структурного числа, що містить v компонент двійкової матриці G .

Плаваюча схема формування структурних чисел дозволяє здійснювати адаптацію до змісту стовпців матриці у процесі кодування. Отримано рекурентні вирази, що забезпечують перерахунок порогових значень на переповнення заданної довжини кодограми. Сформульовано правило відбору компонент двійкової послідовності.

Процес формування компактного представлення одновимірних структурних чисел, утворених на базі двійкової матриці, передбачає визначення розмірів і позиціонування елементів плаваючого структурного числа на основі рекурентного обчислення кількості допустимих двійкових послідовностей з обмеженою кількістю серій одиниць у напрямку стовпців матриці знаків та містить рекурентну систему обчислення кодів-номерів плаваючих структурних чисел.

Процес декодування зводиться до відновлення елементів g_{kl} двійкових матриць по значенню коду C_v , кількості серій одиниць η та довжині ОПСЧ v .

У третьому розділі запропоновано метод стиснення двійкових даних для телекомунікаційних і цифрових систем на основі скорочення структурно-комбінаторної надмірності без внесення помилок і метод відновлення двійкових даних на основі аналізу структури кодових конструкцій.

Для підвищення ступеня стиснення в результаті побудови плаваючих структурних чисел формується одновимірне плаваюче структурне число (ОПСЧ) з параметрами v , η , для яких забезпечується виконання умов

$$\sum_{\ell=1}^2 ([\log_2(V(v_\ell, \eta_\ell^{(\theta)}))] + 1) \geq [\log_2 V_{v, \eta}] + 1; \quad (1)$$

$$[\log_2 \eta_{\max} + 1] + 1 \leq \sum_{\ell=1}^2 ([\log_2 \eta_{\ell, \max} + 1] + 1), \quad (2)$$

де η_{\max} , $\eta_{\ell, \max}$ – максимальне значення кількості серій одиниць для ОПСЧ, що мають довжину, відповідно v та v_ℓ : $\eta_{\max} = \lfloor \frac{v+1}{2} \rfloor$; $\eta_{\ell, \max} = \lfloor \frac{v_\ell+1}{2} \rfloor$.

Додаткове скорочення кількості розрядів на представлення службової інформації виконується шляхом перерозподілу значень кількості серій одиниць по множинах допустимих ОПСЧ. Перерозподіл полягає у присвоєнні множинам $V_{v, \eta}$, що відповідають найбільшій кількості допустимих одновимірних плаваючих структурних чисел, менших величин η , які відповідають множинам допустимих ОПСЧ значно меншого обсягу. Схема перерозподілу величин η для множин $V_{v, \eta}$ організується на основі використання властивостей одновимірних плаваючих структурних чисел і задається співвідношеннями:

1) для v парного і η_{\max} парного:
 $\eta_{\text{ср}} = 0$; якщо $\eta > \eta_{\text{ср}}$, то $\eta = 2(\eta - \eta_{\text{ср}}) - 1$; якщо $\eta < \eta_{\text{ср}}$, то $\eta = 2(\eta_{\text{ср}} - \eta)$; (3)

2) для v парного і η_{\max} непарного:

$$\eta = \lceil (v+1)/4 \rceil = 0; \text{ якщо } \eta > \lceil (v+1)/4 \rceil, \text{ то } \eta = 2(\eta - \lceil (v+1)/4 \rceil); \quad (4)$$

$$\text{якщо } \eta < \lceil (v+1)/4 \rceil, \text{ то } \eta = 2(\lceil (v+1)/4 \rceil - \eta) - 1;$$

3) для v непарного і η_{\max} парного:

$\eta_{\text{ср}} = 0$; якщо $\eta > \eta_{\text{ср}}$, то $\eta = 2(\eta - \eta_{\text{ср}}) - 1$; якщо $\eta < \eta_{\text{ср}}$, то $\eta = 2(\eta_{\text{ср}} - \eta)$; (5)

4) для v непарного і η_{max} непарного:

$\eta = \lceil (v+1)/4 \rceil = 0$; якщо $\eta > \lceil (v+1)/4 \rceil$, то $\eta = 2(\eta - \lceil (v+1)/4 \rceil)$; (6)

якщо $\eta < \lceil (v+1)/4 \rceil$, то $\eta = 2(\lceil (v+1)/4 \rceil - \eta) - 1$.

Вирази (3) - (6), що задають схему перерозподілу службових даних в залежності від обсягу множини допустимих ОПСЧ, дозволяють формувати для двійкових послідовностей, які мають структурні характеристики (кількість серій одиниць), що зустрічаються найбільш часто, меншу кількість розрядів на службові дані.

В цілях усунення недоліку, пов'язаного з вибором більшої довжини кодограми, для представлення коду-номеру одновимірного структурного числа пропонується розглядати сукупність окремих двійкових стовпців (ОПСЧ) з урахуванням додаткових обмежень λ_v на їх динамічні діапазони: $C_v \lll \lambda_v$. При цьому забезпечується скорочення кількості розрядів на представлення ОПСЧ відносно початкового варіанта. Двійкові масиви G розглядаються як цілісні структурні об'єкти.

Для формування коду-номеру каскадного структурного числа розроблено процес нумерації допустимих двійкових комбінацій, що належать множині допустимих каскадних структурних чисел (КСЧ).

Формування компактного кодового представлення двійкових масивів здійснюється за допомогою каскадного структурного кодування. Для побудови каскадних кодових конструкцій $C_{\Psi}^{(2)}$ необхідно формувати масиви C , що складаються із значень кодів-номерів C_v окремих ОПСЧ, та здійснювати виділення динамічних діапазонів по строках масиву $C = \{C_{\ell\Psi}\}$, де $C_{\ell\Psi}$ – код-номер одновимірного плаваючого структурного числа, сформованого на базі ℓ -го стовпця Ψ -го двійкового масиву; Ψ – кількість двійкових масивів, для яких формуються каскадні кодові конструкції.

Процес каскадного структурного кодування складається з таких етапів:

1. Побудова одновимірних структурних плаваючих чисел з урахуванням виконання умов (1) і (2), $v = n$, $n = 8$.

2. Перерозподіл службових даних в залежності від значень $V_{v,\eta}$ обсягів допустимих множин ОПСЧ відповідно до співвідношень (3)–(6).

3. Виявлення обмежень на динамічні діапазони λ_{ℓ} масивів C , що використовуються для обчислення вагових коефіцієнтів $F(\eta, \lambda)_{\ell}$: $\lambda_{\ell} = \max_{1 \leq \psi \leq \Psi} \{C_{\ell\Psi}\} + 1$, де λ_{ℓ} – обмеження на діапазон величин $C_{\ell\Psi}$ в ℓ -му рядку.

4. Формування кодів-номерів $C_{\Psi}^{(2)}$ другого каскадного рівня для Ψ -го стовпця масиву C на основі параметрів, $\psi = 1, \Psi$:

$$C_{\Psi}^{(2)} = \sum_{\ell=1}^n \left(\sum_{k=1}^n g_{k\ell}^{(\Psi)} p_{k\ell}^{(\Psi)} \right) \prod_{\phi=\ell+1}^n F(\eta, \lambda)_{\phi};$$

$$g_{0\ell} = 0, \beta_{0\ell} = 2\eta_{\ell}, \beta_{k\ell} = \beta_{k-1,\ell} - |g_{k-1,\ell} - g_{k\ell}|,$$

де $g_{k\ell}^{(\psi)}$ – (k, ℓ) -й елемент ψ -го каскадного структурного числа; $p_{k\ell}^{(\psi)}$ – ваговий коефіцієнт елементу $g_{k\ell}^{(\psi)}$.

Запропоновано метод відновлення двійкових даних на основі аналізу структури кодових конструкцій, що дозволяє зменшити кількість операцій відновлення. Двійкова послідовність $G = \{g_{k\ell}\}$, $k = \overline{1, n}$, $\ell = \overline{1, n}$, що задовольняє заданим обмеженням, може бути відновлена без внесення похибки на основі значень коду-номера $C_{\psi}^{(2)}$ з урахуванням відомих значень величин: довжини двійкових стовпців n , вектора обмежень $F = \{F(\eta, \lambda)_{\ell} \}_{\ell = \overline{1, n}}$ на діапазоні кодів одновимірних плаваючих структурних чисел і вектора $\{\eta_1, \dots, \eta_{\ell}, \dots, \eta_n\}$ обмежень на кількість серій одиниць у двійкових стовпцях по системі виразів:

$$g_{k\ell}^{(\psi)} = \text{sign}(1 + \text{sign}(C(k-1; \ell)_{\psi}^{(2)} - \phi_{k\ell})), \quad k = \overline{1, n}, \quad \ell = \overline{1, n};$$

– якщо $g_{k-2, \ell} = 1$, а $g_{k-1, \ell} = 0$, а також якщо $|g_{k-2, \ell} - g_{k-1, \ell}| = 0$

$$\text{і } (g_{k-2, \ell} - g_{k-1, \ell}) = 0, \text{ то } \phi_{k\ell} = \phi_{k-1, \ell} \frac{(n-k+1-t_{k-1, \ell}+1)}{(n-k+2)};$$

$$\text{– якщо } g_{k-2, \ell} = 0, \text{ а } g_{k-1, \ell} = 1, \text{ то } \phi_{k\ell} = \phi_{k-1, \ell} \frac{\prod_{\gamma=1}^2 (t_{k-1, \ell} + \gamma)}{(n-k+1-t_{k-1, \ell})(n-k+2)};$$

де $g_{k\ell}^{(\psi)}$ – (k, ℓ) -й елемент ψ -го каскадного структурного числа; $\phi_{k\ell}$ – кількість каскадних двійкових структур $G_k^{(\ell)}$, у яких (k, ℓ) -й елемент дорівнює нулю, тобто $g_{k\ell}^{(\psi)} = 0$; $t_{k-1, \ell}$ – параметр, що відображає залежність кількості одиниць, формул на поточному етапі обробки кількість серій одиниць; обчислюється на основі рекурентних співвідношень $t_{k, \ell} = t_{k-1, \ell} - |g_{k-1, \ell}^{(\psi)} - g_{k\ell}^{(\psi)}| + (g_{k-1, \ell}^{(\psi)} - g_{k\ell}^{(\psi)})$, $t_{0, \ell} = 2\eta_{\ell}$; $C(k-1; \ell)_{\psi}^{(2)}$ – залишкове значення коду-номера $C_{\psi}^{(2)}$, отримане для двійкової структури $G_k^{(\ell)}$, що складається з $((n-k+1) + n(n-\ell))$ двійкових елементів.

Додаткове скорочення кількості операцій здійснюється за рахунок дострокового відновлення елементів каскадного структурного числа (визначення значень отриманих елементів без здійснення декодувальних дій).

Код-номер $C_{\psi}^{(2)}$ каскадного структурного числа може бути представлений виразом: $C_{\psi}^{(2)} = \sum_{\ell=1}^n C_{\ell} \prod_{\phi=\ell+1}^n F(\eta, \lambda)_{\phi}$, що являє собою відображення послідовності, яка складається з елементів C_{ℓ} , $\ell = \overline{1, n}$: $C = \{C_1, \dots, C_{\ell}, \dots, C_n\}$ умішаній системі, на натуральну вісь. При цьому верхнім обмеженням на динамічний

діапазон елемента C_ℓ буде величина $F(\eta, \lambda)_\ell$: $C_\ell \leq F(\eta, \lambda)_\ell - 1$. Ваговим коефіцієнтом елемента C_ℓ каскадного структурного числа буде величина $p(\eta, \lambda)_\ell$, що дорівнює $\prod_{\phi=\ell+1}^n F(\eta, \lambda)_\phi$. Тоді відповідно до властивостей чисел у мішаній системі відновлення ℓ -го елемента КСЧ здійснюється на основі формули

$$C_\ell = \left[\frac{C_\Psi^{(2)}}{p(\eta, \lambda)_\ell} \right] - \left[\frac{C_\Psi^{(2)}}{F(\eta, \lambda)_\ell p(\eta, \lambda)_\ell} \right] F(\eta, \lambda)_\ell.$$

У цьому випадку для відомих величин $F(\eta, \lambda)_\ell$ та $p(\eta, \lambda)_\ell$ забезпечується:
– відновлення елемента C_ℓ незалежно від відновлення інших елементів C_γ , де $\gamma = \overline{1, n}$, $\gamma \neq \ell$;

– можливість для відновлення елементів $g_{k\ell}^{(\Psi)}$, що належать ℓ -му стовпцю двійкового каскадного структурного числа в незалежності від відновлення елементів інших стовпців КСЧ.

Відновлення здійснюється за постовпцевою схемою відповідно до таких етапів.

Етап 1. Формування системи обмежень $F(\eta, \lambda)_\ell$ та їх накопичених добутків $p(\eta, \lambda)_\ell$. Сурахуванням цих величин здійснюється відновлення значень кодів-номерів C_ℓ , $\ell = \overline{1, n}$ для кожного двійкового стовпця каскадного структурного числа.

Етап 2. Отримані на попередньому етапі значення кодів-номерів C_ℓ : $C = \{C_1, \dots, C_\ell, \dots, C_n\}$ дозволяють на другому етапі організувати відновлення елементів $g_{k\ell}^{(\Psi)}$, $k = \overline{1, n}$, $\ell = \overline{1, n}$ каскадного числа.

У четвертому розділі представлено модель оцінювання ступеня стиснення двійкових даних та часових параметрів алгоритмів їх обробки, практичну реалізацію методів кодування та відновлення двійкових даних імплементованих в кристал FPGA компанії XILINX, модель процесу верифікації та тестування функціональності цифрової системи на кристалі, модель системної верифікації апаратного продукту стиснення тестів у кристалі XILINX за допомогою Riviera (Active HDL 7.0).

Мінімально можливе значення $k(\eta, \lambda)_{\min}$ коефіцієнта стиснення двійкових масивів визначається за формулою:

$$k(\eta, \lambda)_{\min} = \frac{n^2}{\sum_{\gamma=2}^{n+1} \log_2 \gamma - \sum_{\gamma=2}^{[(n+1)/4]} \log_2 \gamma - \sum_{\gamma=2}^{n+1 - [(n+1)/4]} \log_2 \gamma + n \left[\log_2 \left[\frac{n+1}{4} \right] \right] + 1},$$

де n – розмір двійкових масивів.

Середнє значення ступеня k стиснення для розробленого методу каскадного структурного кодування визначається за формулою:

$$k = \frac{n^2}{\log_2 \sum_{\ell=1}^n \left(\sum_{k=1}^n g_{k\ell}^{(\psi)} p_{k\ell}^{(\psi)} \right) \prod_{\phi=\ell+1}^n F(\eta, \lambda)_{\phi}} + W_c,$$

де W_c – кількість розрядів на представлення службової інформації (кількість серій одиниць та обмеження на значення кодів двійкових стовпців).

При збільшенні довжини двійкової послідовності максимальне значення ступеня стиснення збільшується в середньому на 12%.

Порівняльна оцінка максимального часу t_1^{\max} – час обробки без урахування технології швидкого декодування, t_2^{\max} – час обробки з урахуванням технології швидкого декодування, t_3^{\max} – час обробки з урахуванням технології швидкого декодування в залежності від величини m , n і для обчислювальної системи, що має такі характеристики відносно кількості виконуваних типових операцій, с: 10^7 (оп.-дод./с), $0,3 \times 10^7$ (оп.мн./с), 10^6 (оп.діл./с) і $0,5 \times 10^7$ (оп.прв./с), наведена на рис. 1 (для кількості бітів, що дорівнює 1024×1024), де 2 – режим відновлення КСЧ з урахуванням технології швидкого декодування; 3 – режим паралельного покаскадного відновлення КСЧ; АК – декодування арифметичних кодів.

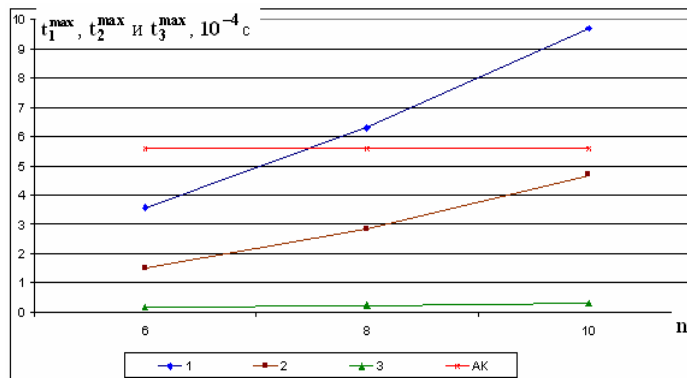


Рис. 1. Графік залежності часу відновлення одного двійкового масиву від n для: 1 – стандартного режиму відновлення КСЧ; 2 – режиму відновлення КСЧ з урахуванням технології швидкого декодування; 3 – режиму паралельного покаскадного відновлення КСЧ; 4 – декодування арифметичних кодів (АК)

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень було вирішено науково-прикладну задачу розробки методів кодування та відновлення двійкових даних, що забезпечують гарантоване підвищення коефіцієнта компактності представлення інформації, на основі скорочення структурно-комбінаторної надмірності без внесення помилок для зменшення часу стиску, відновлення та передачі двійкових даних в телекомунікаційних і цифрових системах.

Отримано такі **наукові результати**:

1. Метод стиснення двійкових даних для телекомунікаційних і цифрових систем, оснований на скороченні структурно-комбінаторної надмірності без внесення помилок, що характеризується представленням двійкового масиву у вигляді каскадного структурного числа та дозволяє суттєво зменшити структурну надлишковість двійкових даних.

2. Метод відновлення двійкових даних для телекомунікаційних і цифрових систем, оснований на аналізі структури кодових конструкцій, що характеризується взємнооднозначним відновленням каскадних структурних двійкових чисел без використання додаткових службових даних та дозволяє здійснити паралельне відновлення кодів-номерів двійкових стовпців каскадних структурних чисел.

3. Модель оцінювання ступеня стиснення двійкових даних і часових параметрів, алгоритмів їх обробки, що отримала подальший розвиток і відрізняється представленням двійкових масивів у вигляді каскадних структурних чисел та дозволяє визначити мінімальне, середнє та максимальне значення ступеня компресії двійкових даних.

4. Модель оцінювання інформативності двійкових масивів, що отримала подальший розвиток і відрізняється урахуванням закономірностей з кількості серій одиниць та дозволяє зменшити надлишковість в умовах нестационарності статистичних властивостей вихідних фрагментів даних.

5. Метод структурного аналізу двійкових масивів, що отримав подальший розвиток і відрізняється плаваючим одновимірним структурним кодуванням, який виключає можливість переповнення машинного слова та дозволяє компактно представляти масиви двійкових даних з апіорно невідомими статистичними характеристиками.

6. Програмні й апаратні засоби, імплементовані у кристал FPGA компанії XILINX, у яких реалізовано методи кодування та відновлення двійкових даних, що забезпечують суттєве зменшення часу кодування та відновлення інформації у телекомунікаційних і цифрових системах.

7. Модель процесу верифікації та тестування функціональностей цифрової системи на кристалі, що забезпечує перевірку основних специфікованих умов шляхом моделювання проекту та діагностування помилок у разі їх виникнення на всіх стадіях життєвого циклу цифрової системи.

8. Модель системної верифікації апаратного продукту стиснення тестів у кристалі XILINX, що ілюструє підвищення швидкодії (x10) методів кодування та стиснення інформації при імплементації в SoC.

**СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ,
ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. 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.
2. 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: Всеукр. межвед. научно-техн. сборник. – 2003. – Вып. 122. – С. 8-15.
3. 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. – Харьков. – С.4-13.
4. 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: Всеукр. межвед. научно-техн. сборник. – 2007. – № 1(138). – С. 86-97.
5. 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.
6. 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.
7. Хаханова А.В. Методика обоснования кодирования тестовой информации в системах цифровой диагностики / А.В. Хаханова // Системи управління, навігація і зв'язок. – 2008. № 2. – С. 141 – 144.
8. Баранник В.В. Метод восстановления двоичных одномерных плавающих структурных чисел / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Авіаційна космічна техніка та технологія. – 2008. – №2 – С. 84 – 86.
9. 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 – 75.
10. Баранник В.В. Метод одномерного плаваючого структурного кодирования двоичных данных / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Зб. наук. пр. Харк. ун-та повітр. сил. – Вип. 2(17). – Х., 2008. – С. 77 – 79.
11. 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.

12. Баранник В.В. Метод восстановления каскадных структурных чисел / Баранник В.В., Хаханова А.В., Кретив А.Р. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научно-техн. сборник. – 2008. – Вып. 2. – С. 162-168.
13. Хаханова А.В. Структурный анализ цифровых проектов в системе моделирования / А.В. Хаханова, Е.А. Каменюка, А.Н. Парфентий // Материалы 7-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». – Харьков. – 22-24 апреля 2003. – С. 458.
14. Хаханов В.И. САПР и международный рынок электронных технологий / В.И. Хаханов, В.И. Обризан, Е.А. Каменюка, А.В. Хаханова // Труды пятой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса. – 17-21 мая 2004. – С. 137.
15. Обризан В.И. Тенденции проектирования цифровых систем на рынке электронных технологий / В.И. Обризан, А.В. Хаханова, А.Н. Парфентий // Материалы 8-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». – Харьков. – 13-15 апреля 2004. – С. 116.
16. Хаханов В.И. Тестирование сложных цифровых систем управления критическими объектами / В.И. Хаханов, В.В. Елисеев, А.В. Хаханова, О.В. Мельникова // Материалы первой международной научной конференции «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции развития». – Харьков – Туапсе. – 3-6 октября 2006. – С. 40-41.
17. Hahanov Vladimir. Technologies for hardware simulation and verification / Vladimir Hahanov, Anna Hahanova, Volodymyr Obrizan, Konstantin Zaharov // Proceedings of the International Conference TCSET ' 2008. – Lviv-Slavsko. – February 19-23, 2008. – P. 560-564.
18. 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.
19. Баранник В.В. Повышение эффективности процессов информационно-технической диагностики в ТКС / В.В. Баранник, А.В. Хаханова // Третий международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». – 2008. – Харьков: ХНУРЭ. – С. 116-119.
20. Баранник В.В. Кодирование двоичных структурных чисел / В.В. Баранник, А.В. Колосийцев, А.В. Хаханова // Материалы 8 международной НТК «Проблемы информатики и моделирования». – Х: НАНУ, НТУ «ХПИ». – 2008. – С. 63.
21. Баранник В.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.

АНОТАЦІЯ

Хаханова Ганна Володимирівна. Структурно-каскадні методи стиснення та відновлення даних у телекомунікаційних системах. – Рукопис. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2009.

У роботі вирішене завдання стиску двійкових даних з метою економії пам'яті на кристалах і часі прийому-передачі даних в ТКМ та у процесі організації й проведення діагностичного експерименту.

Мета дисертаційного дослідження – зменшення часу стиску, відновлення й передачі двійкових даних для телекомунікаційних та тестових систем.

Основні результати: новий метод стиснення даних на основі структурно-каскадного кодування, що характеризується зменшенням структурно-комбінаторної надмірності та дозволяє збільшити ступінь стиснення даних без внесення похибки; новий метод відновлення двійкових даних на основі структурно-каскадного декодування, що характеризується урахуванням двокаскадної структури двійкових масивів та дозволяє відновлювати дані без внесення похибки та без використання додаткової службової інформації; нове швидке структурно-каскадне декодування, що характеризується урахуванням структурних залежностей у двійкових масивах та дозволяє зменшити кількість операцій відновлення без внесення похибки; отримала подальший розвиток модель оцінки інформативності двійкових масивів, що на відміну від існуючих комбінаторних підходів ураховує обмеження на кількість серій одиниць та дозволяє визначити середнє значення та мінімальну границю ступеня компресії двійкових даних; отримала подальший розвиток модель оцінки сумарної кількості типових операцій на обробку двійкових даних, що на відміну від існуючих моделей ураховує можливість представлення двійкових масивів у вигляді каскадних структурних чисел, а також властивість дострокового відновлення двійкових послідовностей та властивість паралельного декодування каскадних кодових конструкцій. Це дозволяє оцінити апаратно-часові характеристики процесу обробки двійкових даних.

Ключові слова: стиснення, відновлення, кодування, декодування, двійкові дані, каскадне структурне число, цифрова система на кристалі, телекомунікаційна система реального часу.

АННОТАЦИЯ

Хаханова Анна Владимировна. Структурно-каскадные методы сжатия и восстановления данных в телекоммуникационных системах. – Рукопись. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2009.

В работе решена задача сжатия двоичных данных в целях экономии памяти на кристаллах и времени приема-передачи данных в телекоммуникационных системах и процессе организации и проведения диагностического эксперимента.

Цель диссертационного исследования – уменьшении времени сжатия, восстановления и передачи двоичных данных для телекоммуникационных и тестовых систем.

Основные результаты: новый метод сжатия двоичных данных для телекоммуникационных и цифровых систем, основанный на сокращении структурно-комбинаторной избыточности без внесения ошибок, который характеризуется представлением двоичного массива в виде каскадного структурного числа и позволяет существенно уменьшить структурную избыточность двоичных данных; новый метод восстановления двоичных данных для телекоммуникационных и цифровых систем, основанный на анализе структуры кодовых конструкций, который характеризуется взаимнооднозначным восстановлением каскадных структурных двоичных чисел без использования дополнительных служебных данных и позволяет осуществлять параллельное восстановление кодов-номеров двоичных столбцов каскадных структурных чисел; получила дальнейшее развитие модель оценивания степени сжатия двоичных данных и временных параметров соответствующих алгоритмов их обработки, которая отличается от аналогов представлением двоичных массивов в виде каскадных структурных чисел и позволяет определить минимальное, среднее и максимальное значения степени компрессии двоичных данных; получила дальнейшее развитие модель оценивания информативности двоичных массивов, которая отличается от аналогов учетом закономерностей по числу серий единиц и позволяет уменьшить избыточность в условиях нестационарности статистических свойств исходных фрагментов данных; получил дальнейшее развитие метод структурного анализа двоичных массивов, который отличается от аналогов плавающим одномерным структурным кодированием, исключая возможность переполнения машинного слова и позволяет компактно представлять массивы двоичных данных с априорно неизвестными статистическими характеристиками; программные и аппаратные средства, имплементированные в кристалл FPGA компании XILINX, в которых реализованы методы кодирования и восстановления двоичных данных, позволяющие существенно уменьшить время кодирования и восстановления информации в телекоммуникационных и цифровых системах;

модель процесса верификации и тестирования функциональностей цифровой системы на кристалле, которая обеспечивает проверку основных специфицированных условий путем моделирования проекта и диагностирования ошибок в случае их возникновения на всех стадиях жизненного цикла цифровой системы; модель системной верификации аппаратного продукта сжатия тестов в кристалле XILINX, которая иллюстрирует повышение быстродействия (x10) методов кодирования и сжатия информации при имплементации в SoC.

Технические характеристики проекта TC SoC: 1) Компьютерная система: ряд IBM PC, процессор – Intel (R) Core (TM) 2 CPU, оперативная память – не менее 1 мегабайта, стандартный набор периферийных устройств. 2) Операционная система – Windows 2000, Windows 2003, Windows XP. 3) HES-board (HES2-X2000MB) компании Alatek, Poland, работающий под управлением Riviera, Active-HDL. Функции: верификация ASIC-проектов на основе ускорения средств моделирования и верификации; использование в качестве акселератора программных моделей путем перехода на аппаратные. 4) Кристалл FPGA, Xilinx Virtex II, xcv2000e. 5) Аппаратурные затраты проекта – 320 210 эквивалентных вентиляей. 6) Быстродействие проекта – 42 027 МГц.

Ключевые слова: сжатие, восстановление, кодирование, декодирование, двоичные данные, каскадное структурное число, цифровая система на кристалле, телекоммуникационная система реального времени.

ABSTRACT

Hahanova Anna Vladimirovna. Structure-cascade methods of data compression and recovery for telecommunication systems. – Manuscript. – Thesis for a candidate degree of technical sciences on speciality 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Ukrainian State Academy of Rail Transport, Kharkov, 2009.

Thesis goal – development of binary data encoding and recovery methods, which provide of the guaranteed compression ratio and increase of information compactness coefficient on basis of decrease the structure-combinatorial redundancy without errors introduction to decrease time of binary data compression, recovery and transmission in real-time telecommunication and digital systems.

Main results: a novel method of data compression on basis of structure-cascade encoding that is characterized by decrease of structure-combinatorial redundancy and allow increasing the data compression rate without errors introduction; a novel method of binary data recovery on basis of structure-cascade decoding that is characterized by taking into account of two stage structure of binary arrays and allows recovering data without errors introduction and without additional information; new fast structure-cascade decoding that is characterized by taking into account of structure relations in

binary arrays and allows decreasing of recovery operations quantity without errors introduction; improved model of binary arrays informativity evaluation that taking into account the constraints of "1" series quantity and allows calculation an average value and minimal limit of binary data compression; improved model of evaluation the total quantity of operations for binary data processing that taking into account the possibility of binary arrays representation in the form of cascade structure numbers and features of early data recovery and parallel decoding of cascade code constructions. It enables evaluation the hardware-time characteristics of binary data processing.

Key words: data compression, data recovery, encoding, decoding, binary data, cascade structure number, system-on-chip, real-time telecommunication system.

Підп. до друку __.__.2009. Формат 60x84¹/₁₆.

Папір офсетний. Обсяг 0,9 друк. арк.

Наклад 100 прим. Зам. № б/н.

Надруковано ПП Степанов В.В. Україна, м. Харків, вул. Ак. Павлова, 311.