

Міністерство транспорту України
Українська державна академія залізничного
транспорту

Корольов АНАТОЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.327: 681.5

теоретичні основи компактного представлення ЗОБРАЖЕНЬ на
основі усунення версифікаційної
надмірності

05.12.02 – ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

АВТОРЕФЕРАТ
ДИСЕРТАЦІЇ НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ
ДОКТОРА ТЕХНІЧНИХ НАУК

ХАРКІВ – 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському військовому університеті

- Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Жихарев Володимир Якович,
професор кафедри "Виробництво
радіоелектронних систем літальних апаратів"
Національного аерокосмічного університету ім.
М.С. Жуковського "ХАІ" Міністерства освіти і
науки України, м. Харків;
- доктор технічних наук, професор
Лосев Юрій Іванович,
професор кафедри Харківського військового
університету Міністерства оборони України,
м. Харків;
- доктор технічних наук, професор,
Козелков Сергій Вікторович,
начальник кафедри Національної Академії
Оборони України Міністерства оборони
України, м. Київ.

Провідна установа: Одеська Національна Академія зв'язку
ім. О.С. Попова, кафедра "Фізика оптичного
зв'язку" Державного комітету зв'язку та
інформатизації України, м. Одеса.

Захист відбудеться "___" _____ 2003 р. о "___" годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 при **Українській державній
академії залізничного транспорту** за адресою:

Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці академії.

Відгук на автореферат просимо надсилати за адресою:

Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий "___" _____ 2003 р.

*ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ
К.Т.Н., ДОЦЕНТ*

М.В. КНИГАВКО

КОРОЛЬОВ АНАТОЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

теоретичні основи компактного представлення ЗОБРАЖЕНЬ на основі
усунення версифікаційної
надмірності

05.12.02 – "ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ"

**АВТОРЕФЕРАТ ДИСЕРТАЦІЇ
НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ ДОКТОРА ТЕХНІЧНИХ
НАУК**

НАДРУКОВАНО З ОРИГІНАЛУ АВТОРА

Підписано до друку 24.10.2003

Папір офсетний

Друк. арк. 2,0

Ціна договірна

Обл.-вид. арк. 1,75

Формат 60x84/16

Друк офсетний

Наклад 100 прим.

Зам. 2/147-03

**ДРУКАРНЯ ХАРКІВСЬКОГО ВІЙСЬКОВОГО УНІВЕРСИТЕТУ
61023, ХАРКІВ-23, ВУЛ. СУМСЬКА, 77/79**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У відповідності з Національними програмами інформатизації України, Концепцією розвитку Єдиної Національної системи зв'язку України на 2000 – 2010 рр. та Національними космічними програмами України (1997 – 2002, 2003 – 2010 рр.) основними задачами розвитку телекомунікаційних систем є: розширення кола задач, розв'язуваних у реальному часі; зниження собівартості і підвищення якості доведеної до одержувача інформації. Успішне рішення поставлених задач пов'язано з необхідністю доведення інформаційних потоків обсягом порядку 10^3 Гбіт/с. У цей час технічні можливості підсистем обробки і передачі інформації є обмеженими. Це призводить до передачі у реальному часі не більш, ніж **0,4 %** від усієї необхідної інформації. Використання підсистеми стиску відеоданих (ПСВ) дозволяє зменшити обсяги даних і підвищити пропускну здатність каналів зв'язку.

Великий внесок у розвиток методів стиску внесли вітчизняні вчені. Серед них Акушський І.Я., Александров В.В., Бабкин В.Ф., Віттіх В.А., Горський М.Д., Єремєєв І.С., Заболоцький В.М., Зубарев Ю.М., Котельніков В.А., Красильников М.М., Кричевський Р.Е., Мановцев А.П., Онищенко Ю.А., Орищенко В.І., Свириденко В.О., Трофимов Б.Е., Штарьков Ю.М., Харатишвілі Н.Г. та ін. З закордонних дослідників великий внесок внесли Барнслі М., Девиссон Л.Д., Зів Дж., Кунт М., Претт У.К., Шеннон К., Харт-лі Р.Л., Хаффман Д.А., Хеммінг Р.В. та ін.

Однак, проведений аналіз відомих методів стиску, показав, що вони *не забезпечують* передачу у реальному часі реалістичних зображень з високою якістю (значення відношення сигнал/шум не менш $h \geq 40$ дБ). При цьому забезпечувані існуючими методами стиску обсяги інформаційних потоків менше необхідних обсягів інформаційних потоків від **10** до **10000** разів.

Проведений аналіз розвитку методів стиску виявив, що основні проблемні сторони забезпечення доведення необхідних інформаційних потоків у реальному часі складаються з відсутності:

- узагальненого формалізованого апарата всебічного аналізу різних фізичних характеристик зображень;
- єдиної кількісної міри для визначення кількості інформації з декількох характеристик різної фізичної природи.

Таким чином, для зменшення часу обробки і передачі відеоінформації на основі компактного представлення необхідно вирішити актуальну науково-технічну **проблему**, яка складається з *розробки теоретичних основ*

компактного представлення зображень на основі усунення версифікаційної надмірності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в межах Національної програми інформатизації України, Концепції розвитку Єдиної Національної системи зв'язку України на 2000 – 2010 рр., Національних космічних програм України (1997 – 2002, 2003 – 2010 рр.) та планами НДР МОУ, ХВУ. Основні результати дисертаційної роботи використовувалися у 16 звітах з НДР, в тому числі: "Розробка методів і засобів обміну даними і виключення надмірності інформації" (№ 3643); "Розробка методів і засобів компактного представлення і розподілу відеоінформації" (№ 3759); "Інформаційно-телекомунікаційна мережа системи військової освіти МОУ" (№ 26/1/241); "Розробка методів та засобів стиску відеоданих" (№ 3816); "Розробка методів та засобів оптимізації структур систем телекомунікації відеоданих" (№ 3822); "Розробка методів та засобів автоматизації моніторингу Землі" (№ 3824), в яких автор був науковим керівником.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є теоретичні основи компактного представлення зображень, що забезпечують зменшення часу їхньої обробки і передачі в телекомунікаційних системах. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Необхідно розробити теоретичні основи оцінки кількості надмірності, що усувається, за декількома характеристиками різної фізичної природи.
2. Розробити теоретичні основи статистичної оцінки кількості надмірності різних видів.
3. Розробити і дослідити метод стиску зображень без втрати якості на основі узагальненого усунення різних за фізичною природою видів надмірності (крім психовізуального виду надмірності).
4. Розробити і дослідити метод компактного представлення зображень з контрольованою втратою якості на основі отриманої теорії усунення надмірності декількох видів різної фізичної природи, що забезпечують зменшення часу передачі інформаційних потоків при заданих значеннях: відношення сигнал/шум (ВСШ), швидкості виконання машинних операцій, швидкості передачі даних по каналу зв'язку й обсягу зовнішнього запам'ятовуючого пристрою.
5. Необхідно розробити і дослідити метод відновлення зображень з контрольованою втратою якості.
6. Для отриманих методів стиску необхідно розробити способи швидкого кодування і декодування відеоданих, що забезпечить скорочення часових витрат на стиск і відновлення зображень.

7. Оцінити часові витрати на обробку і передачу відеоінформації, стиснутої на основі розроблених методів.

8. Розробити програмно-апаратні реалізації розроблених методів стиску і відновлення зображень.

Об'єкт дослідження. Процес представлення зображень в телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження. Компактне представлення зображень у телекомунікаційних системах на основі усунення версифікаційної надмірності.

Методи дослідження. Дослідження ролі підсистем стиску відеоданих у процесі функціонування систем управління ґрунтувалося на методах теорії складних систем. Дослідження властивостей довжин одноколірних областей і трансформант дискретного косинусного перетворення проводилося на базі методів структурного аналізу зображень. Для отримання виразів, що визначають кількість інформації на елемент зображення і надмірність версифікаційної моделі джерела зображень, використовувалися методи теорії імовірностей, математичної статистики і методи теорії інформації. Визначення середньої довжини стиснутих кодових комбінацій ґрунтувалося на методах теорії імовірностей і математичної статистики. При висновку аналітичного виразу для визначення відношення сигнал/шум використовувалися методи статистичної теорії зв'язку. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів проводилася на основі методів математичної статистики і методів теорії передачі та сприйняття зображень.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена рішенням проблеми *розробки теоретичних основ компактного представлення зображень на основі усунення версифікаційної надмірності*. Вперше отримані наступні наукові результати:

1. Розроблено теоретичні основи усунення версифікаційної надмірності зображень, які дозволяють проводити оцінку інформативності зображень за сукупністю (версією) ознак різної фізичної природи. На основі отриманої теорії версифікаційної надмірності вперше розроблені методи компактного представлення відеоданих без втрати та з контрольованою втратою якості за рахунок послідовного виключення надмірності різної фізичної природи:

1.1. Метод компактного представлення на основі комбінованого поліадичного кодування масивів довжин одноколірних областей з обмеженим числом серій (версія 1). Виключаються наступні види надмірності: структурна надмірність у масивах довжин одноколірних областей шляхом зниження їхнього динамічного діапазону на мінімальне значення; структурна надмірність у двійковому представленні довжин

одноколірних областей за обмеженим числом серій; надмірність, обумовлена обмеженим діапазоном значень кодів за числом серій.

1.2. Метод компактного представлення масивів колірних координат на основі комбінованого поліадичного кодування трансформант дискретного косинусного перетворення (ДКП) і врахуванням обмеженого числа серій у низькочастотних складових (версія 2). Стиск зображення забезпечується усуненням структурної надмірності масивів колірних координат зниженням їхніх значень на мінімальне; психовізуальної надмірності по засобах контрольованого квантування високочастотних компонент ДКП; надмірності в низькочастотних компонентах, обумовленої обмеженим числом двійкових серій; структурної надмірності в змінній кількості стовпців трансформант ДКП.

1.3. Метод відновлення зображень на основі:

1) декодування кодових комбінацій за версією 1, що включає:

- відновлення службової інформації про значення ознак зображень;
- декодування комбінованих поліадичних кодів;
- декодування кодів за числом двійкових серій;
- відновлення вихідного динамічного діапазону масивів довжин одноколірних областей;

2) декодування кодових комбінацій за версією 2, що складається з:

- декодування комбінованих кодів трансформант ДКП;
- декодування кодів за числом двійкових серій у низькочастотних складових ДКП;
- деквантування високочастотних компонент ДКП;
- виконання зворотного двовимірного ДКП.

2. На основі вперше розробленої теорії статистичної оцінки версифікаційної надмірності одержала подальший розвиток статистична теорія зв'язку. Розроблена теорія ґрунтується на:

– статистичній інтерпретації різних за фізичною природою видів надмірності;

– вперше отриманій системі аналітичних виразів оцінки інформаційних ємностей зображень для розроблених версій виключення надмірності; це дозволило визначити найбільшу границю ступеня стиску зображень;

– отриманні системи аналітичних виразів для визначення середніх значень коефіцієнтів стиску різних версій скорочення надмірності. Це дає можливість формалізувати результати досліджень ефективності розроблених методів стиску, а також провести порівняння з відомими методами, що зменшують різні види надмірності.

3. Розроблено швидкі алгоритми кодування і декодування кодів за числом серій на основі рекурентного обчислення вагових коефіцієнтів двійкових елементів.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю аналогів у положеннях теорії та практики систем кодування, обробки і передачі даних.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в тому, що на підставі отриманих теоретичних положень розроблені:

1. Методи стиску та відновлення зображень без втрати і з контрольованою втратою якості, що організують версифікаційний стиск масивів довжин одноколірних областей і масивів кольорних координат, доведені до програмно-апаратної реалізації, дозволили додатково щодо відомих методів компресії забезпечити:

- збільшення стиску у середньому у **2** рази – для сильнонасичених зображень, у **3,2** рази – для середньо-насичених зображень і в **2,5** рази – для слабонасичених зображень;

- відновлення зображень з високою якістю (ВСШ не менш **40** дБ).

2. Алгоритми швидкого формування та декодування кодів за числом серій, доведені до програмно-апаратної реалізації, в сукупності з отриманим виграшем у ступені стиску дозволили щодо відомих методів отримати зниження сумарного часу обробки і передачі інформації для швидкості передачі по каналу зв'язку $U_n = 1,5 \times 10^6$ (біт/с) і швидкості обробки $U_k = 3 \times 10^8$ (оп/с), а також для $U_n = 128 \times 10^3$ (біт/с) і $U_k = 3 \times 10^7$ (оп/с) на **55**, **68** і **60** % відповідно для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень, а для швидкості передачі по каналу зв'язку $U_n = 1,5 \times 10^6$ (біт/с) і швидкості виконання машинних операцій, рівної $U_k = 3 \times 10^7$ (оп/с) на **40** % для сильнонасичених та на **55** % для середньо- і слабонасичених зображень.

Результати дисертації використовувалися при виконанні експериментально-конструкторських робіт в центрі прийому наукової інформації НКАУ (акт реалізації від 05.09.2002 р.), в центрі управління польотами космічних апаратів (акт реалізації від 04.10.2002 р.), у військовій частині А 0117 (акт реалізації від 02.12.2002 р.), на НТ СКБ "ПОЛІСВІТ" (акт реалізації від 12.05.2003 р.), в ДП ПКТЬ "Укртрансзв'язок" (акт реалізації від 20.05.2003 р.), на ЦКБ ЛОМО (акт реалізації від 21.05.2003 р.), в ФГУП "НПО ім С.А. Лавочкина" (акт реалізації від 05.06.2003 р.), а також в навчальному процесі ХВУ (акт реалізації від 10.04.2003 р.).

Особистий внесок автора дисертаційної роботи в публікації, виконані в співавторстві, полягає в наступному: у статті [1] – розроблено і

досліджено метод виключення надмірності у відеоінформаційній моделі польотної обстановки; у статті [2] – запропоновано спосіб компактного представлення бінарної інформації; у статті [3] – отримано метод рядково-вагового кодування графічної інформації; у статті [5] – розроблено метод компактного представлення кольорових зображень на основі виділення областей однакового кольору; у статті [6] – запропоновано метод стиску символних даних; у статтях [8 – 10, 12, 14, 22, 53 – 56] – запропоновано метод виключення надмірності, що обумовлена структурною однорідністю фрагментів у окремому та послідовності кадрів кольорових зображень; у статті [11] – отримано модель оцінки ефективності перешкодостійкості стиснутих даних до помилок у каналі зв'язку; у статті [13] – отримано оцінку часових витрат на формування довжин серій; у статті [15] – розроблено метод стиску матриць ознак компонентів ДКП; у статті [16] – розроблено метод зонально-граничного відновлення компонент ДКП; у статтях [17, 25, 30] – розроблено метод компактного представлення окремих та послідовності кадрів на підставі зонально-граничного відбору коефіцієнтів трансформант ДКП; у статті [18] – розроблено гібридний спосіб стиску зображень на основі кодування довжин серій; у статті [19] – розроблено метод кодування зображень довжинами серій з підвищеною стійкістю до помилок у каналі зв'язку; у статті [20] – розроблено метод усунення надмірності зображень на основі обліку особливостей за ознаками: довжиною серії та амплітудами спектральних компонентів трансформант ДКП; у статті [21] – запропоновано спосіб адаптивної кластеризації кодової книги; у статті [27] – отримано вираз для оцінки середнього квадратичного відхилення у службовій частині кодової комбінації, що обумовлено помилками у каналі зв'язку; у статтях [23, 24, 28, 32] – розроблено метод стиску зображень на підставі скорочення надмірності, яка викликана обмеженим динамічним діапазоном компонент трансформант ДКП; у статті [26] – розроблено спосіб відновлення зображень за комбінованими кодами стовпців трансформант ДКП; у статті [29] – отримано метод відновлення компонент трансформант ДКП із врахуванням їх обмеженого динамічного діапазону; у статті [31] – запропоновано метод стиску зображень на основі хвильових перетворень масивів з непарними розмірами; [35] – запропоновано метод зниження надмірності масивів довжин серій та кольорових координат, що викликано обмеженістю діапазонів відповідно у довжинах серій та у значеннях кольорових координат; у статті [33] – отримано вираз для закону розподілу сплесків значень кольорових координат; у статті [34] – розроблено спосіб упаковки ознак стовпців

масивів кольорових координат; у статті [36] – проведена оцінка кількості інформації на елемент зображення із врахуванням обмеженого числа серій; у статті [37] – запропонована конвеєрна організація відновлення зображень; у статті [38] – отримано оцінку кількості операцій на відновлення масивів кольорових координат та довжин серій; у статті [39] – проведено оцінку ступеня стиску масивів кольорових координат; у винаходах [57 – 60] – запропоновані ідеї та розроблені пристрої для формування, стиску, накопичення, перетворення і відображення графічної інформації; у винаходах [61, 62, 71] – запропоновані ідеї та розроблені пристрої для формування кольорових сигналів графічного зображення; у винаході [63] – запропоновано ідею і розроблено пристрій для порівняння кодів у процесі формування довжин серій; у винаходах [64 – 66, 68] – запропоновані ідеї і розроблені пристрої для стиску цифрових сигналів ТВ-зображень; у винаході [67] – запропоновано ідею і розроблено пристрій для адаптивного стиску кольорових сигналів ТВ-зображень; у винаході [69] – запропоновано ідею і розроблено пристрій для відображення інформації на екрані ТВ-приймача; у винаході [70] – запропоновано ідею і розроблено телевізійну систему з компресією цифрових сигналів кольорових зображень; у винаході [72] – запропоновано ідею і розроблено пристрій для формування помітних сегментів зображень.

Апробація результатів дисертації. Результати практичних і теоретичних досліджень, викладені в дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на 16 міжнародних, 11 всесоюзних, 5 республіканських, 12 Міністерства Оборони СРСР і України науково-технічних нарадах і конференціях, симпозіумах і семінарах, а також на семінарах “Синтез, обработка и отображение информационных моделей” Наукової ради НАНУ з проблеми “Теоретическая электротехника и электронное моделирование” (1980, 1985 – 2003 рр.), в цьому числі на:

II і IV Всесоюзних НТК “Диалог” человек – ЭВМ (Ленінград, 1982; Київ, 1985); 8 – 10 Всесоюзних симпозіумах АН СРСР з проблеми надмірності в інформаційних системах (Ленінград, 1983, 1986, 1989); Всесоюзній НТК “Методы и средства обработки сложной графической информации” (м. Горький, 1988); Всесоюзній НТК “Живучесть и реконфигурация информационно-вычислительных и управляющих систем” (Москва, 1989); Всесоюзній школі-семінарі “Передача, обработка и отображение информации” (Теберда, 1990, 1991, 1992); Республіканських НТК “Автоматизация, проектирование и управление производством” (Харків, 1982 – 1984); Республіканських НТК “Функционально-ориентированные вычислительные системы” (Харків, 1986, 1990); Міжгалузевій науковій

конференції “Устройства отображения знакографической информации на газоразрядных индикаторах” (Москва, 1987); Міжнародній НТК “Функционально-ориентированные вычислительные системы (ФОВС – 93)” (Алушта, 1993); Міжнародних НТК “Представление, обработка и передача информации” (Сочи, 1992, 1993); Міжнародній НТК “Проблемы передачи и обработки данных” (Рибаче, 1994); III-й міжнародній конференції “Новые технологии в машиностроении” (Рибаче, 1994); Міжнародній НТК “Передача, обработка и отображение информации” (Домбай, 1994); 8 – 15 міжнародних школах-семінарах “Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті” (Алушта, 1995 – 2002 рр.); Міжнародній НТК “Обработка информации и повышение надежности систем управления” (Харків, 1996); науково-технічних семінарах “Синтез, обработка и отображение информационных моделей” Наукової ради НАНУ з проблеми “Теоретическая электротехника и электронное моделирование” (1980, 1985 – 2003 рр.); Міжнародній НТК “Проблемы информатики и моделирования” (Харків, 2001, 2002); Міжнародній НТК “Проблемы совершенствования систем управления и связи” (Харків, 1997); Науково-технічних конференціях МО СРСР і МОУ (Київ, 1982, 1983, 2002; Харків, 1981, 1984, 1986, 1996, 1999; в/ч 32103, 1979, 1981; в/ч 25840, 1974; в/ч 13991, 1979; в/ч 07378, 1978)

Публікації. За темою дисертації автором самостійно та у співавторстві опубліковано **212** наукових праць, що включають **98** наукових статей, **49** винаходів СРСР, **46** тез доповідей, **16** звітів з НДР, **3** навчальних посібники. При цьому основні положення докторської дисертації опубліковані в **56** статтях, з яких **41** написана разом з іншими авторами, **16** винаходах, а також у **44** матеріалах і тезах доповідей на конференціях. Усі статті опубліковані в журналах і збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених ВАК України для публікацій матеріалів дисертації з технічних наук.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається із вступу, семи розділів, списку використаної літератури і додатків. Загальний обсяг дисертації складається із 368 сторінок, з них 62 ілюстрації на 27 сторінках, 26 таблиць на 13 сторінках, перелік використовуваних скорочень на 1 сторінці, списку використаної літератури з 275 джерел на 25 сторінках і додатків на 48 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ доведена актуальність розглянутої роботи, сформульована проблема, мета та задачі дисертації, представлені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ показано, що існуючі технічні можливості підсистем обробки та передачі відеоінформації космічного і наземного сегментів *не забезпечують* обсяги інформаційних потоків (ІП), що необхідні для безпомилкового рішення комплексу загальносвітових і галузевих задач у реальному часі. Обґрунтовано, що підвищення обсягів інформаційних потоків, які доводяться у реальному часі, пов'язано з використанням підсистеми стиску відеоданих. Вибираються показники якості та формулюється критерій ефективності підсистеми ПСВ. Проведено аналіз існуючих і можливих напрямків розробки нових методів стиску.

Основною характеристикою функціонування підсистеми обробки і передачі відеоданих є обсяг інформаційного потоку, що забезпечується нею. Тому показником ефективності методу стиску MC_i є забезпечуваний ним у телекомунікаційних системах (ТС) обсяг ІП $I(MC_i)_t$ при системі обмежень:

$$\begin{cases} U_{п} \leq U_{зад,п}; & \begin{cases} W_{взу} \leq W_{зад,ззу}; \\ h \geq h_3, \end{cases} \\ U_{обр} \leq U_{зад,обр}; \end{cases} \quad (1)$$

де $U_{зад,обр}$, $U_{зад,п}$, $W_{зад,ззу}$ – відповідно задані для конкретної ТС швидкість виконання машинних операцій, швидкість передачі даних і обсяг зовнішнього запам'ятовуючого пристрою (ЗЗУ); h_3 – задане значення відношення сигнал/шум.

Для послідовного варіанта функціонування ТС обсяг інформаційного потоку $I(MC_i)_t$, що забезпечується i -м методом стиску, дорівнює

$$I(MC_i)_t = \frac{W}{T_{к,i} + T_{в,i} + T_{п,i}}, \quad (2)$$

де $T_{к,i}$, $T_{в,i}$, $T_{п,i}$ – відповідно часові витрати на кодування, відновлення і передачу вихідного зображень обсягом W біт.

Із аналізу формули (2) випливає, що в загальному випадку величина ІП залежить від сумарного часу на обробку і передачу відеоданих T_{var} :

$$T_{var} = T_{к,i} + T_{в,i} + T_{п,i}. \quad (3)$$

Тому критерієм ефективності процесу стиску і передачі відеоданих слугить значення часу T_{var} при виконанні обмежень (1).

Аналіз відомих методів стиску і можливих напрямків їхнього розвитку виявив основну проблемну сторону забезпечення доведення необхідних обсягів ІІ у реальному часі: відсутність узагальненого аналізу, формалізованого апарата і вимог до вибору видів надмірності, що послідовно усуваються. Це призводить до того, що вони із врахуванням існуючих швидкостей виконання машинних операцій і швидкостей передачі даних по каналу зв'язку забезпечують передачу у реальному часі обсягів ІІ порядку $10^4 - 10^8$ біт/с. Це менше необхідних інформаційних потоків від 10 до 10^4 разів.

Таким чином, розробка і дослідження швидких методів стиску і відновлення зображень без втрати та з контрольованою втратою якості на основі узагальненої теорії усунення надмірності декількох видів різної фізичної природи, що забезпечують зменшення часу доведення інформації при заданих значеннях: відношення сигнал/шум (40 дБ), швидкості виконання машинних операцій, швидкості передачі даних по каналу зв'язку й обсягу зовнішнього запам'ятовуючого пристрою є *актуальною науково-технічною проблемою*.

У **ДРУГОМУ РОЗДІЛІ** розробляються теоретичні положення виключення версифікаційної надмірності зображень. Проводиться вибір основних версій ознак. Доводиться необхідність використання додаткової інформативної ознаки.

Напрямок компактного представлення зображень на основі узагальненого виключення різних за фізичною природою видів надмірності базується на положеннях *теорії версифікаційної надмірності*. Теоретичні основи версифікаційної надмірності зображень будуються на двох основних етапах узагальнення:

Перший етап узагальнення — загальні теоретичні основи виключення надмірності за окремою ознакою будь-якої фізичної природи, що ґрунтується на наступних положеннях:

1. Виявляються статичні або динамічні закономірності в кількісних значеннях ознаки зображення будь-якої фізичної природи.
2. Розробляється система правил для перебування кількості інформації в зображеннях, що приходить на один елемент, за обраною ознакою. При цьому кількісна міра повинна встановлювати ступінь *інформативності зображення* за конкретною кількісною ознакою.
3. Розробляється система вирішальних правил, що усувають надмірність зображень на основі аналізу закономірностей за заданою ознакою.

Другий етап узагальнення — загальні теоретичні положення усунення надмірності за сукупністю кількісних і якісних ознак різної фізичної природи. Основним моментом теоретичних положень другого етапу є

теорема про необхідні та достатні умови інформативності послідовності ознак: якщо для фрагмента зображення виконується нерівність (необхідна умова):

$$\exists A_v | |B(v, S_1)| > 1 \text{ і } H(v, S_1) > 0, \quad (4)$$

і для ознаки S_1 існує незв'язана або частково зв'язана ознака S_2 (достатня умова), то для матриці інформативності $I(v, S_1)$ та ознаки S_1 виконується нерівність

$$R(S_1, S_2) = \frac{H(v, S_1) - H(S_1, S_2)}{H(v, S_1)} > 0, \quad (5)$$

де $B(v, S_1)$ – підмножина значень ознаки S_1 , заданих для фрагментів A_v ; $H(v, S_1)$ – кількість інформації в A_v по S_1 на елемент зображення.

У цьому випадку матриця інформативності $I(v, S_1)$ буде мати надмірність за ознакою S_1 , а ознака S_2 буде інформативною для матриці $I(v, S_1)$. Доказ теореми ґрунтується на визначеннях взаємоув'язаних ознак, а також на основі кількісних оцінок інформативності кожної ознаки, що окремо отримані на першому етапі узагальнення. З доведеної теореми випливає, що в результаті послідовного виявлення закономірностей за окремою ознакою сукупності (*версії*) надмірність (*версифікаційна надмірність*) усувається тоді, коли: всі ознаки інформативні, множина різних значень ознак не повинна складатися з одного елементу й ознаки в складі версії повинні бути незалежними або частково взаємоув'язаними.

Загальна формула для визначення кількості надмірності R_{k_p-1, k_p} за довільною кількістю ознак k_p має вигляд

$$R_{k_p-1, k_p} = 1 - \frac{H_{k_p-1, k_p}}{H_0 \prod_{i=1}^{k_p-1} (1 - R_{i-1, i})}, \quad (6)$$

де H_{k_p-1, k_p} – кількість інформації, що приходить на елемент зображення, із врахуванням виявлення закономірностей за k_p ознаками обраної версії;

$(1 - R_{i-1, i})$ – величина, обернено пропорційна кількості надмірності в матриці інформативності $I^{(i-2, i-1)}$ за ознакою S_i .

На основі узагальнених досліджень різних сукупностей ознак обґрунтовано, що вимогам версифікаційної надмірності в більшому ступені відповідають наступні версії ознак:

– для стиску без втрати якості – “довжина серії однакових елементів”, “мінімальний елемент зображення у фрагменті”, “максимальні значення динамічного діапазону”;

– для стиску з контрольованою втратою якості – “амплітуди спектральних складових (просторово-спектральні характеристики)”, “кількість півтонів (психовізуальні характеристики)”, “максимальні значення динамічного діапазону”.

Однак обрані версії мають проблемну сторону, що полягає у відсутності інформативної ознаки, на основі якої можна було б виявити закономірності для зображень з різним ступенем насиченості, а також знизити ступінь протиріччя між інформативністю довжин серій і просторово-спектральними характеристиками.

На основі теореми про непересікаємість класів доводиться, що додатковою інформативною ознакою є “число серій однакових двійкових елементів”. Теорема формулюється так: якщо n і \mathfrak{D} – цілі позитивні числа, то для парних n виконується рівність

$$|\Omega| = |\Omega_{\mathfrak{D}}|, \quad (7)$$

де $|\Omega|$ і $|\Omega_{\mathfrak{D}}|$ – відповідно множина можливих двійкових послідовностей довжиною n елементів і підмножина послідовностей з множини $|\Omega|$, що мають число серій, яке дорівнює \mathfrak{D} .

Таким чином розроблені теоретичні основи усунення версифікаційної надмірності. Сформульовано вимоги до вибору конкретної версії, на основі яких були обрані дві сукупності інформативних ознак. Доведено необхідність додаткового використання в складі версій ознаки “число серій однакових двійкових елементів”.

ТРЕТІЙ РОЗДІЛ присвячено розробці теоретичних основ теорії статистичної оцінки версифікаційної надмірності та кількісної оцінки ступеня інформативності запропонованих версій ознак.

Як загальну теорію оцінки **кількості інформації**, що приходить на елемент зображення, за сукупністю ознак різної фізичної природи запропоновано використовувати положення статистичної теорії зв'язку.

Статистична оцінка кількості інформації на елемент зображення за **першою версією** складається з трьох етапів.

Перший етап. Для геометричного закону розподілу довжин серій визначається кількість інформації $H(v, S_1^{(1)})$ в залежності від максимального ℓ_{\max} значення довжини серії:

На **другому етапі** отримано вираз для визначення кількості інформації $\mathbf{H}(S_1^{(1)}, S_2^{(1)})$ на один елемент матриці інформативності – у двійковому представленні довжин серій

$$\mathbf{H}(S_1^{(1)}, S_2^{(1)}) = - \sum_{N(s_2^{(1)})_{\zeta j} = 0}^{N_{\max}^{(1)}} \left(\sum_{s_2^{(1)} = 0}^{\mathfrak{g}_{\max}} \mathbf{P}(\ell_{\zeta j} = \mathbf{u} \mid N(s_2^{(1)}) \leq V(v_p, s_2^{(1)})) \times \right. \\ \left. \times \log_2 \sum_{s_2^{(1)} = 0}^{\mathfrak{g}_{\max}} \mathbf{P}(\ell_{\zeta j} = \mathbf{u} \mid N(s_2^{(1)}) \leq V(v_p, s_2^{(1)})) \right). \quad (8)$$

де $N(s_2^{(1)})_{\zeta j}$ – випадкова величина значення коду за числом $S_2^{(1)}$ серій однакових двійкових елементів, яка обмежена порогом $N_{\max}^{(1)}$; $\mathbf{P}(\ell_{\zeta j} = \mathbf{u} \mid N(s_2^{(1)}) \leq V(v_p, s_2^{(1)}))$ – імовірність події $(\ell_{\zeta j} = \mathbf{u})$, для якої виконується нерівність $N(s_2^{(1)}, \ell_{\max}, \mathbf{u}) \leq V(v_p, s_2^{(1)})$; $V(v_p, s_2^{(1)})$ – число комбінацій з v_p по $s_2^{(1)}$; \mathfrak{g}_{\max} – максимальне число серій.

На **третьому етапі** виводиться вираз для оцінки кількості інформації $\mathbf{H}(S_2^{(1)}, S_3^{(1)})$ на один елемент масиву чисел $N(s_2^{(1)})_{\zeta j}$ із врахуванням обмежень $S_3^{(1)}$ на значення динамічного діапазону в залежності від імовірності розподілу значень поліадичних чисел.

Розрахунки, проведені на основі отриманих виразів, показали, що за рахунок кодування за числом серій довжин одноколірних областей значення нижньої границі витрат кількості розрядів на один елемент знизилась в середньому додатково у **2** рази; за рахунок поліадичного кодування масивів кодів за числом серій нижня границя витрат розрядів на один елемент зображення додатково щодо нижньої границі до поліадичного кодування знижується в середньому у **3** рази; сумарне скорочення версифікаційної надмірності за ознаками версії 1 (без врахування витрат розрядів на представлення колірних координат) знаходиться в інтервалі від **90** до **99** % у залежності від імовірності колірного перепаду.

Статистична оцінка кількості версифікаційної надмірності за **ознаками другої версії** також складається з трьох етапів.

Перший етап пов'язано з одержанням виразу для обчислення кількості інформації $\mathbf{H}\left(\mathbf{v}, \mathbf{S}_1^{(2)}\right)$, що приходиться на одну компоненту $\mathbf{y}_{\mathbf{vk}}$ ДКП.

На **другому етапі** отримується вираз для оцінки кількості інформації $\mathbf{H}\left(\mathbf{S}_1^{(2)}, \mathbf{S}_2^{(2)}\right)$ у двійковому представленні компоненти трансформанти ДКП за числом серій $\mathbf{S}_2^{(2)}$ однакових елементів, що має вигляд

$$\mathbf{H}\left(\mathbf{S}_1^{(2)}, \mathbf{S}_2^{(2)}\right) = - \sum_{\substack{N(s_2^{(2)}) \\ v_{ij}=0}}^{N_{\max}^{(2)}} \left(\sum_{s_2^{(2)}=0}^{\vartheta_{\max}} \mathbf{P}\left(\mathbf{y}_{\mathbf{vk}} = \mathbf{u} \mid N\left(s_2^{(2)}\right) \leq V\left(\mathbf{v}_p, s_2^{(2)}\right)\right) \times \right. \quad (9) \\ \left. \times \log_2 \sum_{s_2^{(2)}=0}^{\vartheta_{\max}} \mathbf{P}\left(\mathbf{y}_{\mathbf{vk}} = \mathbf{u} \mid N\left(s_2^{(2)}\right) \leq V\left(\mathbf{v}_p, s_2^{(2)}\right)\right) \right).$$

де $\mathbf{P}\left(\mathbf{y}_{\mathbf{vk}} = \mathbf{u} \mid N\left(s_2^{(2)}\right) \leq V\left(\mathbf{v}_p, s_2^{(2)}\right)\right)$ – імовірність події $\mathbf{y}_{\mathbf{vk}} = \mathbf{u}$, для якої виконується нерівність $N\left(s_2^{(2)}\right) \leq V\left(\mathbf{v}_p, s_2^{(2)}\right)$; $N_{\max}^{(2)}$ – максимально можливе значення величини $N\left(s_2^{(2)}\right)_{\mathbf{vk}}$.

Третій етап пов'язано з отриманням виразу для обчислення кількості інформації $\mathbf{H}\left(\mathbf{S}_2^{(2)}, \mathbf{S}_3^{(2)}\right)$ на один елемент масиву чисел $N\left(\mathbf{S}_2^{(2)}\right)_{\mathbf{vk}}$ із врахуванням обмежень $\mathbf{S}_3^{(2)}$ на значення динамічного діапазону

$$\mathbf{H}\left(\mathbf{S}_2^{(2)}, \mathbf{S}_3^{(2)}\right) = 1.43 \ln \sigma\left(N\left(\mathbf{S}_3^{(2)}\right)_k\right) \sqrt{2\pi e}, \quad (10)$$

де $\sigma\left(N\left(\mathbf{S}_3^{(2)}\right)_k\right)$ – середнє квадратичне відхилення величини $N\left(\mathbf{S}_3^{(2)}\right)_k$.

На основі проведеної статистичної оцінки версифікаційної надмірності (вирази (9), (10)) за версією 2 доведено, що забезпечується зменшення надмірності зображень від **84.3** до **99.7** % у залежності від імовірності колірного перепаду, а кількість інформації відповідно приймає значення в інтервалі від **0.024** до **3.5** розрядів на елемент зображення.

Таким чином, на основі отриманих статистичних оцінок кількості версифікаційної надмірності впливає висновок про необхідність розробки методів компактного представлення зображень за рахунок усунення надмірності різної фізичної природи за версіями 1 і 2.

У **ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ** розробляється структурна організація обробки даних. Для заданої структурної організації розробляється метод стиску зображень без втрати якості (версія 1). Розробляється алгоритм швидкого кодування за числом серій однакових розрядів. Проводяться оцінки ступеня компактного представлення зображень і кількості операцій на стиск.

Для структурної організації процесу обробки відеоданих для версії 1 отримана система правил, що дозволяє стиснути зображення і виключити неконтрольовані втрати інформації.

Схема процесу компактного представлення зображення складається з наступних етапів:

1. З вихідного фрагмента A_v на основі оператора $\Phi_{v,s1}$ утворюється масив L_v довжин серій ℓ_{ij} і масив C колірних координат c_{ij} .

2. Для виключення структурної надмірності у двійковому представленні довжин одноколірних областей, викликаній обмеженими значеннями числа серій розрядів, *пропонується використовувати оператор* $\Phi_{s1,s2}$. Оператор $\Phi_{s1,s2}$ задається виразом

$$N(\mathcal{Q})_{ij}^{(1)} = \sum_{\xi=1}^{n(\mathcal{Q})_{\max}} \ell_{ij\xi}^{(2)} (r_{\xi-1} - r_{\xi}), \quad (11)$$

де $N(\mathcal{Q})_{ij}^{(1)}$ – код ij -го елемента масиву L ; $\ell_{ij\xi}^{(2)}$ – ξ -й двійковий елемент ij -ої довжини серії; r_{ξ} – ваговий коефіцієнт ξ -го двійкового елемента величини ℓ_{ij} , факторіально залежний від кількості розрядів $n(\mathcal{Q})_{\max}$, які затрачено на представлення довжини серії ℓ_{ij} і числа серій \mathcal{Q}_{ij} .

Для зменшення часу доведення інформації необхідно скоротити обчислювальні витрати при формуванні кодів $N(\mathcal{Q})_{ij}^{(1)}$. Для цього розробляється алгоритм швидкого обчислення кодів за числом двійкових серій, який засновано на заміні факторіальної схеми обчислення вагових коефіцієнтів r_{ξ} системою рекурентних виразів:

$$r_{\xi} = \begin{cases} r_{\xi-1} \frac{(I_{1\xi} + 1)}{(I_{0\xi} + 1)}, & \text{якщо } \ell_{ij, \xi-1}^{(2)} = \ell_{ij, \xi}^{(2)}; \\ r_{\xi-1} \frac{(I_{2\xi} + 1)}{(I_{0\xi} + 1)}, & \text{якщо } \ell_{ij, \xi-1}^{(2)} \neq \ell_{ij, \xi}^{(2)}, \end{cases} \quad (12)$$

де $I_{0\xi}$, $I_{1\xi}$ і $I_{2\xi}$ – параметри рекурентної системи.

Отримання виразу (12) засновано на обліку залежності значень вагових коефіцієнтів r_{ξ} від результату порівняння поточного і попереднього значень двійкових елементів.

Додаткове зниження кількості операцій на обчислення чисел $N(\mathfrak{D})_{ij}^{(1)}$ забезпечується тоді, коли вагові коефіцієнти r_{ξ} обчислюються для значимих розрядів $n(v, \mathfrak{D})_{\max}$ (під значимими розрядами маються на увазі ті розряди, які необхідні для представлення максимального значення довжини серії $\ell'(v)_{\max}$ масиву L'_v), рівних

$$n(v, \mathfrak{D})_{\max} = \lceil \log_2 \ell'(v)_{\max} \rceil + 1 < \lceil \log_2 \ell_{\max} \rceil.$$

3. Для зменшення значень $N(\mathfrak{D})_{ij}^{(1)}$ (додаткового підвищення коефіцієнта стиску зображень) *пропонується попередньо зменшувати динамічний діапазон довжин серій* на мінімальне значення ℓ_{\min} в масиві L :

$$\ell'_{ij} = \ell_{ij} - \ell_{\min}; \quad \ell_{\min} = \min_{\substack{1 \leq i \leq m_{dc} \\ 1 \leq j \leq n_{dc}}} \{ \ell_{ij} \}, \quad (13)$$

де m_{dc} , n_{dc} — відповідно кількість рядків і стовпців у масиві L .

У результаті виконання виразу (13) додатково усувається структурна надмірність зображень, викликана однорідністю величин ℓ_{ij} , отриманих для локального фрагмента A_v .

4. Для усунення структурної надмірності, обумовленої: нерівномірністю значень довжин серій; зменшеним динамічним діапазоном масивів довжин серій; власною нерівномірністю розподілу значень чисел $N(\mathfrak{D})_{ij}^{(1)}$, що пояснюється залежністю їхньої величини від числа двійкових серій \mathfrak{D}_{ij} , *пропонується здійснювати поліадичне кодування масивів* $N^{(v, \mathfrak{D})}$ чисел

$N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)}$. Процес формування поліадичних кодів $N(\Lambda)_j$ для масивів чисел $N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)}$ організується оператором $\Phi_{s2,s3}$. У випадку кодування масивів чисел $N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)}$ оператор $\Phi_{s2,s3}$ має вигляд

$$N(\Lambda)_j^{(1)} = \sum_{i=1}^{m_{dc}} N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)} h_i, \quad (14)$$

де h_i – накопичений добуток максимальних значень для $m_{dc} - i - 1$ рядка.

5. Оскільки зображення характеризуються наявністю фрагментів, що мають різний ступінь насиченості деталями, і різною однорідністю довжин одноколірних областей, то поліадичні коди, які сформовані для одного або декількох фрагментів, будуть мати різні значення. Для обліку таких нерівномірностей *пропонується проводити комбіноване поліадичне кодування*. Комбіноване поліадичне кодування полягає в тому, що з масиву $N^{(v,\mathfrak{Q})}$ відбираються стовпці, для яких формується загальний поліадичний код. Для добору стовпців отримано правило, що забезпечує виключення втрати інформації через переповнення машинного слова. Для відібраних стовпців масиву $N^{(v,\mathfrak{Q})}$ загальний поліадичний код $N_{n \bullet}$ обчислюється за виразом

$$N_{n \bullet} = \sum_{i=1}^{m_{dc}} \sum_{j=1}^{n_{dc}} N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)} h_{ij}, \quad (15)$$

де h_{ij} – ваговий коефіцієнт ij -го елемента масиву $N^{(v,\mathfrak{Q})}$.

Часові витрати $T_{pk}^{(1)}$ на стиск зображення за версією 1 із врахуванням рекурентного обчислення значень кодів за числом серій знаходяться за формулою

$$T_{pk}^{(1)} = \frac{Z_r Z_b}{U_k l_{cp}} \left(l_{cp} + \frac{13n(v,\mathfrak{Q})_{\max}}{2} + 8 \right), \quad (16)$$

де Z_r, Z_b – розмір зображень відповідно по горизонталі та вертикалі.

Розрахунки, які проведені за формулою (16), виявили, що рекурентне обчислення значень кодів за числом серій дозволяє знизити сумарний час на стиски зображення за версією 1 у середньому в 4 рази щодо факторіального формування кодів за числом серій.

Оцінка ступеня компактного представлення розробленого методу за версією 1 показала, що ступінь стиску масивів довжин одноколірних

областей змінюється від **10** до **300** разів у залежності від імовірності колірного перепаду. Однак, ступінь стиску зображень із врахуванням витрат розрядів на представлення колірних координат знижується в середньому в **20** разів.

Таким чином, розроблено метод стиску зображень без втрати якості на основі поліадичного кодування довжин одноколірних областей із врахуванням швидкого обчислення кодів за числом двійкових серій. Стиск зображень на основі розробленого методу досягається за рахунок виключення версифікаційної надмірності за версією 1. Для додаткового підвищення ступеня стиску потрібно розробити метод компактного представлення масивів колірних координат, а також необхідно врахувати можливість контрольованої втрати якості зображень.

У П'ЯТОМУ РОЗДІЛІ розробляється метод компактного представлення зображень з контрольованою втратою якості за рахунок усунення версифікаційної надмірності за версіями 2.1 і 2.2. Проводиться оцінка ступеня стиску зображень розробленим методом.

Зображення є нестационарними, отже, заздалегідь не можна сказати який вид надмірності є переважним. При цьому на основі теореми про інформативність ознак, *найбільший ступінь стиску забезпечується при усуненні версифікаційної надмірності*, яка включає *психовізуальну надмірність*. Тому необхідно розробити метод стиску зображень з контрольованою втратою якості, що виключає версифікаційну надмірність за версіями 2.1 і 2.2.

Для скорочення кількості операцій на стиск **пропонується для вихідного зображення формувати масиви довжин серій однакових елементів і масиви колірних координат**. У цьому випадку зменшується кількість даних, для яких проводяться ДКП і кодування за числом двійкових серій. Для обліку різного інформативного навантаження масивів **L** і **C** **пропонується для кожного типу масивів усувати версифікаційну надмірність за різними версіями ознак**. Це дозволить додатково збільшити ступінь стиску і не допустити різкого зниження якості відновлених зображень.

Розглянемо вибір типу кодування для масивів довжин серій L. З погляду правильного сприйняття зображення найбільш значимою є інформація про структуру і форми об'єктів. Отже, для стиску масивів довжин серій необхідно використовувати кодування, що не вносить погрешності. Тому **пропонується в масивах довжин одноколірних областей виключати версифікаційну надмірність на основі ознак версії 2.1**. Даний вид версифікаційної надмірності скорочується в результаті комбінованого поліадичного кодування числа двійкових серій довжин одноколірних областей (вирази (11) – (15)).

Розглянемо вибір типу кодування для масивів колірних координат C. Для цього розглянемо особливості масивів колірних координат:

- вони не несуть основної інформації про структуру і форми об'єктів зображень. Помилка в значенні однієї колірної координати пошириться тільки в межах однієї серії. Однак для правильної ідентифікації об'єкта в деяких випадках важливо мати інформацію про висоту перепадів. У зв'язку з цим погрішність при відновленні значень колірних координат повинна мати контрольований характер;

- колірні координати серій однакових елементів є слабкокорельованими, що обумовлено виключенням послідовності однакових елементів.

Виходячи з цих особливостей, *пропонується* для компактного представлення масивів колірних координат *використовувати поліадичне кодування трансформант дискретного косинусного перетворення (версія 2.2)*. При цьому поліадичне кодування забезпечує скорочення структурної надмірності трансформант ДКП, викликані концентрацією енергії у відносно малій кількості компонентів. Формування поліадичних кодів $N(\Lambda)_k^{(2)}$ компонентів ДКП y_{vk} задається виразом

$$N(\Lambda)_k^{(2)} = \sum_{v=1}^{n_{\text{шв}}} y_{vk} h_v, \quad (17)$$

де h_v – ваговий параметр v -го рядка трансформанти; $n_{\text{шв}}$ – число рядків у масиві S .

З аналізу виразу (17) випливає, що для додаткового підвищення ступеня стиску масивів S необхідно розробити способи зниження значень компонент y_{vk} ДКП. *Пропонується знижувати діапазон значень компонент y_{vk} такими способами:*

1. Зменшенням діапазону колірних координат c_{ij} на мінімальне значення c_{min} в масиві S .

Такий спосіб найбільш ефективний для штучних зображень, що мають великі області, зафарбовані одним кольором.

2. Зменшення значень компонент ДКП y_{vk} за рахунок їхнього переквантування на основі матриці квантизації Q . У цьому випадку додатково усувається психовізуальна надмірність. Тому він найбільш ефективний для напівтонових зображень.

Однак, запропоновані способи зменшення значень поліадичних кодів $N(\Lambda)_k^{(2)}$ є неефективними для реалістичних зображень, сильнонасичених дрібними деталями різного кольору. Це обумовлено неоднорідністю значень колірних координат серій однакових областей і невеликою кількістю напівтонових областей (або їхньою відсутністю). Тому для додаткового підвищення ступеня компактного представлення зображень пропонується:

1. Знижувати значення кодів $N(\Lambda)_k^{(2)}$ на основі *перереформування трансформанти ДКП*, що полягає в повороті її на 180° і переіндексації компонентів шляхом обходу трансформанти по Z -розгорненню.

Для нової трансформанти буде характерна тенденція збільшення значень компонент зверху – вниз, ліворуч – праворуч за рядковим зигзагом. У цьому випадку значення кодів буде мінімальним.

2. *Здійснювати кодування компонентів* $u_{\nu k}$ *за числом двійкових серій* \mathcal{Q} . При цьому для зниження часових витрат на стиск *пропонується формувати коди* $N(\mathcal{Q})_{\xi k}^{(2)}$ *тільки для трьох низькочастотних складових компонентів ДКП, що мають найбільші значення*. Реалізація цього способу здійснюється за формулою

$$N(\mathcal{Q})_{\nu k}^{(2)} = \sum_{\xi=1}^{nb} b_{\nu k \xi}^{(2)} p_{\xi}, \quad (18)$$

де $b_{\nu k \xi}^{(2)}$ – двійкове представлення квантованої (згладженої) компоненти ДКП $b_{\nu k}$; p_{ξ} – ваговий параметр ξ -го розряду компонента ДКП.

Для додаткового підвищення коефіцієнта стиску *пропонується проводити комбіноване поліадичне кодування*, що враховує різні значення компонентів у різних її частинах. У цьому випадку для стовпців, що містять область з мінімальними значеннями компонентів, допустимо формування загального поліадичного коду. Якщо довжина машинного слова не дозволить додати ще один стовпець, то для нього обчислюється окремий поліадичний код і тим самим виключаються втрати інформації через переповнення розрядної сітки.

Для оцінки ступеня стиску $k_{ст}$ зображень на основі усунення версифікаційної надмірності за двома версіями було отримано вираз

$$k_{ст} = \frac{W}{W_1 + W_2 + W_{1,2}}, \quad (19)$$

де W – цифровий обсяг вихідного зображення;

W_1 , W_2 , $W_{1,2}$ – відповідно сумарна кількість розрядів для цифрового представлення матриці комбінованих поліадичних кодів, матриці компактного представлення колірних координат і матриці кодів упакованої службової інформації;

$$W_1 = v \left(\left(n_{дс} - n_{пк}^{(1)} \right) M + M \right); \quad (20)$$

v – кількість масивів $N^{(v, \vartheta)}$ у всьому кадрі; $n_{\text{пк}}^{(1)}$ – кількість стовпців масиву $N^{(v, \vartheta)}$, для яких формується один код;

$$W_2 = v \left(\left(n_{\text{пк}}^{(2)} - n_{\text{пк}}^{(1)} \right) M + M \right), \quad (21)$$

де $n_{\text{пк}}^{(2)}$ – кількість стовпців у трансформанті $B^{(v, \vartheta)}$, для яких формується один код, із врахуванням обмеженого числа двійкових серій в амплітудах низькочастотних складових; M – довжина машинного слова.

Розрахунки, проведені за формулами (19) – (21), показали, що значення коефіцієнта стиску на основі усунення версифікаційної надмірності за версіями 2.1 і 2.2 змінюється в межах від **2,5** до **305** разів у залежності від класу реалістичних зображень, що перевищує ступінь стиску зображень у випадку окремої обробки за версією 2.1 від **2** до **17** разів, а у випадку окремої обробки за версією 2.2 – у середньому в **2** рази.

Таким чином, розроблено метод стиску зображень з контрольованою втратою якості на основі усунення версифікаційної надмірності за версіями 2.1 і 2.2.

ШОСТИЙ РОЗДІЛ присвячено розробці методу відновлення, що включає в себе декодування кодів за двома версіями інформативних ознак. Проводиться оцінка кількості операцій, які потрібно затратити на відновлення зображень. Розробляється алгоритм швидкого відновлення двійкових даних.

Для відновлення зображення за версією 2.1 необхідно здійснити:

1. Безпосередній перехід між матрицями комбінованих поліадичних кодів і матрицею кодів за числом серій, що забезпечується шляхом декодування комбінованих поліадичних кодів $N(\Lambda)_j^{(1)}$ і $N_{n \bullet} \bullet$:

$$N(\vartheta)_{ij}^{(1)} = \Phi_{\text{пк}}^{-1} \{ N(\Lambda)_j^{(1)} \}, \quad i = \overline{1, n_{\text{дс}}}; \quad N(\vartheta)_{ij}^{(1)} \in N^{(v, \vartheta)}, \quad (22)$$

де $\Phi_{\text{пк}}^{-1} \{ N(\Lambda)_j^{(1)} \}$ – оператор декодування простого поліадичного числа;

$$N(\vartheta)_{ij}^{(1)} = \Phi_{\text{ок}}^{-1} \{ N_{n \bullet} \bullet \}, \quad i = \overline{1, n_{\text{дс}}}; \quad j = \overline{1, n^{\bullet}}; \quad (23)$$

$$N(\vartheta)_{ij}^{(1)} \in N_v^n = \bigcup_{j=1}^{n^{\bullet}} N_v^{(j)},$$

де $\Phi_{\text{ок}}^{-1} \{ N_{n \bullet} \bullet \}$ – оператор узагальненого декодування для n^{\bullet} стовпців поліадичного коду $N_{n \bullet} \bullet$.

2. Перехід від кодів $N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)}$, $j = \overline{1, n_{dc}}$ до масивів довжин одноколірних областей L запропоновано організувати за виразом

$$\ell_{ij\xi}^{(2)} = \Phi_{s1,s2}^{-1} \left(N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)}, f_{\xi} \right), \quad i, j = \overline{1, n_{dc}}, \quad \xi = \overline{1, n(\mathfrak{Q})_{\max}}, \quad (24)$$

де $\Phi_{s1,s2}^{-1} \left(N(\mathfrak{Q})_{ij}^{(1)}, f_{\xi} \right)$ – оператор декодування кодів за числом серій однакових елементів у довжині одноколірної області; f_{ξ} – ваговий коефіцієнт ξ -го елементу.

Для зниження кількості операцій на виконання оператора (24) пропонується *перетворити факторіальну схему обчислення вагових коефіцієнтів f_{ξ} на рекурентну*. Для цього із врахуванням залежності значень величин f_{ξ} від результату порівняння поточного і двох попередніх відновлених двійкових елементів отримано систему рекурентних виразів:

$$f_{\xi} = \begin{cases} f_{\xi-1} \frac{(Q_{1\xi}+1)}{(Q_{0\xi}+1)}, & \text{якщо } a_{\xi-1,j} = a_{\xi-2,j} \text{ або } a_{\xi-1,j} = 0, a_{\xi-2,j} = 1; \\ f_{\xi-1} \frac{(Q_{2\xi}-1)(Q_{2\xi}+2)}{(Q_{0\xi}+1)(Q_{1\xi})}, & \text{якщо } a_{\xi-1,j} = 1, a_{\xi-2,j} = 0, \end{cases} \quad (25)$$

де $Q_{0,\xi}$, $Q_{1,\xi}$ і $Q_{2,\xi}$ – параметри рекурентних виразів $a_{\xi-\xi}$ -й двійковий елемент.

Відновлення вихідного динамічного діапазону довжин одноколірних областей реалізується за рахунок додавання до отриманого (на попередньому етапі) елементу масиву L відповідного мінімального значення.

3. Зіставлення довжинам одноколірних областей необхідних колірних координат.

Масиви колірних координат виходять на основі версифікаційного відновлення за версією 2.2.

Перший етап процесу відновлення складається з переходу від матриці комбінованих поліадичних кодів із врахуванням обмежень на число однакових розрядів у низькочастотних компонентах ДКП до матриці кодів компонент ДКП з обмеженням на число двійкових серій у низькочастотних складових. Для повного відновлення компонентів трансформант ДКП потрібно декодувати коди $N(\mathfrak{Q})_{vk}^{(2)}$. Декодування кодів $N(\mathfrak{Q})_{vk}^{(2)}$ для низькочастотних компонентів з координатами (n_{cv}, n_{cv}) , $(n_{cv} - 1, n_{cv})$ і $(n_{cv} - 1, n_{cv} - 1)$ проводиться з врахуванням рекурентного обчислення вагових коефіцієнтів f_{ξ} (25).

Після відновлення вихідного формату трансформанти організується перехід від трансформанти ДКП до масивів колірних координат. Такий перехід здійснюється на основі виконання зворотного дискретного косинусного перетворення.

Для оцінки часових витрат T_{pd} на відновлення зображення отримано вираз

$$T_{pd} = \frac{Z_r Z_b}{l_{cp} U_k} \left(l_{cp} + 2 \log_2 n_{dc}^2 + \frac{(n_{dc}^2 + 3)(14n + 2)}{n_{dc}^2} + 18 \right). \quad (26)$$

Розрахунки, проведені за формулою (26), показали, що часові витрати на відновлення зображення з використанням рекурентного алгоритму декодування кодів за числом серій для $n = 8$, розміром зображення $Z_r \times Z_b = 800 \times 600$ елементів і швидкістю виконання машинних операцій $U_{обр} = 10^8$ (оп/с) змінюються в діапазоні від **0,044** до **0,55 с**.

Для статистичної оцінки якості зображень отримано вираз для обчислення значення відношення сигнал/шум h . При цьому проведені розрахунки показали, що розроблений метод відновлення зображень забезпечує значення відношення сигнал/шум не нижче **40 дБ**.

Таким чином, розроблено версифікаційне відновлення зображень за версіями 2.1 і 2.2.

У СЬОМОМУ РОЗДІЛІ порівнюються характеристики розроблених та існуючих методів стиску зображень. Отримані схемотехнічні реалізації запропонованих методів виключення версифікаційної надмірності.

На основі проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. Для розроблених методів стиску і відновлення зображень на основі усунення версифікаційної надмірності за двома версіями для швидкості передачі даних $U_{п} = 1,5 \times 10^6$ (біт/с) і середньої швидкості виконання машинних операцій $U_{обр} = 3 \times 10^8$ (оп/с) часові витрати на обробку і передачу відеоданих знаходяться на рівні від **0,04** до **20,8** секунд у залежності від класу і розміру зображень.

2. Найменший виграш за сумарним часом на обробку і передачу стиснутих зображень для розробленого методу щодо відомих методів для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень дорівнює відповідно в середньому **2,8**, **3,1** і **2,6** рази.

3. Значення коефіцієнтів стиску окремих фрагментів на основі розробленого методу знаходяться в діапазоні від **2,6** до **300** разів у залежності від ступеня насиченості зображення.

4. Розроблений метод забезпечує великий ступінь стиску щодо відомих методів у середньому в **2,5** рази.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблені теоретичні основи компактного представлення зображень на основі усунення версифікаційної надмірності. На основі розроблених теоретичних положень отримані методи стиску і відновлення зображень без втрати і з контрольованою втратою якості.

Основні наукові результати:

1. Розроблено теоретичні основи версифікаційної надмірності зображень, що базуються на двох етапах: узагальнення виключення надмірності за окремою ознакою будь-якої фізичної природи; узагальнення теоретичних основ зменшення надмірності за сукупністю якісних і кількісних ознак різної фізичної природи.

2. Розроблено теоретичні основи статистичної оцінки версифікаційної надмірності за ознаками версій 1 і 2, що включають систему виразів для оцінки кількості інформації, що приходить на один елемент, і ступеня надмірності, що усувається, у залежності від виду матриці інформативності зображень.

3. Розроблено метод стиску зображень без втрати якості на основі поліадичного кодування довжин одноколірних областей із врахуванням числа двійкових серій. Стиск зображень на основі розробленого методу досягається за рахунок виключення версифікаційної надмірності за версією 2.1.

4. За рахунок обліку структурних особливостей даних, що оброблюються, у сукупності з властивостями кодера розроблений швидкий рекурентний алгоритм обчислення кодів за числом серій однакових елементів.

5. Для забезпечення компактного представлення зображень розроблено метод стиску зображень з контрольованою втратою якості за рахунок виключення версифікаційної надмірності за двома версіями ознак. При цьому кожна версія вибирається відповідно до інформативного навантаження даних, що оброблюються, і з обліком їхнього динамічного діапазону.

6. Для виключення версифікаційної надмірності в масивах кольорних координат за версією 2.2 розроблено комбіноване поліадичне кодування трансформант ДКП із врахуванням обмеженого числа двійкових серій низькочастотних складових, що включає в себе:

- переформатування трансформант ДКП із метою підвищення їхньої відповідності вимогам поліадичних кодів;
- кодування низькочастотних складових компонентів ДКП за числом двійкових серій;
- комбіноване поліадичне кодування трансформант ДКП.

7. Розроблено версифікаційне відновлення стиснутого зображення за версіями 2.1 і 2.2, що забезпечує:

- декодування комбінованих поліадичних кодів із врахуванням обмеженого числа двійкових серій у довжинах одноколірних областей;
- швидке декодування кодів за числом серій однакових розрядів у довжинах одноколірних областей;
- декодування комбінованих поліадичних кодів із врахуванням обмеженого числа двійкових серій у низькочастотних складових;
- швидке декодування кодів низькочастотних компонентів ДКП за числом двійкових розрядів;
- виконання зворотного ДКП для вихідного формату трансформант;
- зіставлення масивів колірних координат і масивів довжин одноколірних областей.

Основні практичні результати:

1. Методи стиску та відновлення зображень без втрати і з контрольованою втратою якості, що організують версифікаційний стиск масивів довжин одноколірних областей і масивів колірних координат, доведені до програмно-апаратної реалізації, дозволили додатково щодо відомих методів компресії забезпечити:

- збільшення стиску у середньому у **2** рази для сильнонасичених зображень, у **3,2** рази – для середньонасичених зображень і в **2,5** рази – для слабонасичених зображень;
- відновлення зображень з високою якістю (ВСШ не менш **40** дБ).

2. Алгоритми швидкого формування та декодування кодів за числом серій, доведені до програмно-апаратної реалізації, в сукупності з отриманим виграшем за ступенем стиску дозволили щодо відомих методів отримати зниження сумарного часу обробки і передачі інформації для швидкості передачі по каналу зв'язку $U_{\Pi}=1,5 \times 10^6$ (біт/с) і швидкості обробки $U_{\text{к}}=3 \times 10^8$ (оп/с), а також для $U_{\Pi}=128 \times 10^3$ (біт/с) і $U_{\text{к}}=3 \times 10^7$ (оп/с) на **55, 68** і **60** % відповідно для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень, а для швидкості передачі по каналу зв'язку $U_{\Pi}=1,5 \times 10^6$ (біт/с) і швидкості виконання машинних операцій, рівної $U_{\text{к}}=3 \times 10^7$ (оп/с) на **40** % для сильнонасичених, **55** % для середньо- і слабонасичених зображень.

Основне значення отриманих автором результатів для науки та практики складається у:

1) подальшому розвитку теорії інформації в області кодування, що полягає у вперше отриманій теорії узагальненого усунення надмірності зображень різної фізичної природи;

2) подальшому розвитку статистичної теорії зв'язку, що полягає у вперше розробленій теорії статистичної оцінки версифікаційної надмірності;

3) скороченні сумарного часу обробки та передачі зображень по каналу зв'язку без втрати якості у 2 рази та з контрольованою втратою якості – 4 рази.

Достовірність отриманих результатів обґрунтовується їхньою несуперечністю основним положенням теорії інформації, а також підтверджується адекватністю результатів експериментальних досліджень, отриманих у ході функціонування розробленої програмної моделі, теоретичних даних, отриманих за виведеними аналітичними виразами статистичної оцінки версифікаційної надмірності.

Результати дисертаційної роботи доцільно використовувати:

– при обробці та передачі відеоінформації в телекомунікаційних системах;

– при проведенні конструкторських і науково-дослідницьких робіт, пов'язаних із створенням нових технічних і програмних засобів з обробки відеоінформації;

– при вивченні навчальних дисциплін з кодування й з обробки відеоінформації для підготовки фахівців у ВНЗ України.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ ПРАЦЯХ

1. Королев А.В., Лебедев С.М., Паржин Ю.В. Методы сжатия информационной модели полетной обстановки // Радиоэлектроника летательных аппаратов. – Х.: ХАИ. – 1984. – Вып. 13. – С. 177 – 185.

2. Королев А.В., Лебедев С.М., Паржин Ю.В. Компактное кодирование бинарной информации // Радиотехника. – Х.: Вища шк. – 1984. – Вып. 70. – С. 3 – 9.

3. Королев А.В., Петухов В.А. Построчно-весовое кодирование графических изображений // Автоматизированные системы управления. – Х.: ХАИ. – 1987. – С. 56 – 62.

4. Королев А.В. Информационный анализ методов формирования символов // Прикладная математика и техн. кибернетика. – Х.: ХАИ. – 1987. – С. 118 – 121.

5. Королев А.В., Петухов В.А. Метод кодирования видеоинформации цифровых цветных изображений // Радиотехника. – Х.: Вища шк., 1989. – Вып. 91. – С. 71 – 76.

6. Королев А.В., Король Э.Н., Товарницкий А.В. Метод сжатия символьных данных. В кн.: Передача, обработка и отображение информации. – Теберда – Х., 1991. – С. 30 – 32.

7. Королев А.В. Обработка геометрических информационных моделей // Информационные системы. – Х.: АНУ. – 1993. – С. 9 – 23.

8. Королев А.В., Рубан И.В. Метод межкадрового кодирования цифровых цветных изображений // Обработка информации. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1995. – С. 30 – 36.

9. Королев А.В., Рубан И.В. Метод межкадрового кодирования видеоинформации цифровых цветных изображений адресами граничных элементов // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ХВУ. – 1995. – С. 50 – 54.

10. Королев А.В., Рубан И.В., Петрукович Д.Е. Оценка возможности сжатия видеоданных динамических изображений // Обработка информации. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1996. – С. 57 – 62.

11. Королев А.В., Рубан И.В., Северинов А.В., Буханцов А.Д. Оценка эффективности передачи сжатых видеоданных по каналу с ошибками // Управление и связь. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1996. – С. 47 – 51.

12. Королев А.В., Рубан И.В. Внутрикадровое и межкадровое кодирование видеоинформации цветных изображений // Электрон. моделирование. – 1996. – № 3. – С. 66 – 71.

13. Королев А.В., Рубан И.В. Исследование временных параметров визуализации изображения // Информационно-управляющие системы на ж.д. транспорте. – 1996. – № 5, 6. – С. 101 – 102.

14. Королев А.В., Рубан И.В. Сжатие видеоданных сериями граничных элементов // Электрон. моделирование. – 1997. – № 5. – С. 31 – 40.

15. Королев А.В., Рубан И.В., Малахов С.В. Сжатие матрицы знаков при использовании кодирования с преобразованием // Информационно-управляющие системы на ж.д. транспорте. – 1997. – № 3. – С. 12 – 14.

16. Королев А.В., Рубан И.В., Малахов С.В., Головкин В.И. Метод повышения качества восстановления изображения // Информационно-управляющие системы на ж.д. транспорте. – 1997. – № 4. – С. 41 – 45.

17. Королев А.В., Рубан И.В., Малахов С.В., Мануйлов В.Е. Межкадровое кодирование изображений с преобразованием // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1997. – Вып. 1(5). – С. 135 – 139.

18. Королев А.В., Гришко А.В., Рубан И.В. Гибридный способ сжатия // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1995. – Вып. 2. – С. 9 – 12.

19. Королев А.В., Гришко А.В. Повышение качества отображения видеоданных в АСУ // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1998. – Вып. 2(10). – С. 161 – 164.

20. Королев А.В., Новиков В.И., Рубан И.В. Сжатие видеоинформации за счет комбинирования методов с сохранением и потерей информации // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ХВУ. – 1998. – С. 96 – 99.

21. Королев А.В., Мануйлов В.Е. Адаптивная кластеризация кодовой книги // Информатика. – К.: Наук. думка. – 1998. – Вып. 5. – С. 3 – 6.

22. Королев А.В., Рубан И.В., Новиков В.И. Межкадровое сжатие видеоданных в системах видеоконференций // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 1. – С. 69 – 73.

23. Королев А.В., Баранник В.В. Модифицированный метод адаптивного нумерационного кодирования изображений // Інформаційно-керуючі системи

на залізничному транспорті. – 1999. – № 4. – С. 19 – 27.

24. Королев А.В., Баранник В.В. Метод комплексной обработки изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 5. – С. 10 – 17.

25. Королев А.В., Малахов С.В., Рубан И.В. Метод сжатия видеоданных посредством преобразований // Электрон. моделирование. – 1999. – № 4. – С. 47 – 55.

26. Королев А.В., Баранник В.В. Метод восстановления трансформант ДКП // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вип. 3(9). – С. 83 – 86.

27. Королев А.В., Баранник В.В. Помехоустойчивость полиадических кодов трансформант ДКП к ошибкам в канале связи // Системи обробки інформації. – Х.: ХФВ “Транспорт України”. – 2000. – Вип. 4(10). – С. 99 – 103.

28. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Метод комбинированного кодирования трансформант // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 1(11). – С. 29 – 32.

29. Королев А.В., Баранник В.В. Метод восстановления изображений // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 2(12). – С. 21 – 25.

30. Королев А.В., Малахов С.В., Линник Н.Ф. Модифицированное зональное сжатие изображений при частичном устранении фазовых составляющих спектра // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 5(15). – С. 176 – 180.

31. Королев А.В., Стрюк А.Ю. Волновое преобразование матриц с нечетными размерностями // АСУ и приборы автоматики. – 2001. – Вип. 117. – С. 32 – 36.

32. Королев А.В., Баранник В.В. Метод сокращения избыточности изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 2. – С. 85 – 88.

33. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Математическая модель представления массивов цветowych координат полиадическими кодами // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 6. – С. 19 – 25.

34. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Сжатие матриц-признаков столбцов трансформант ДКП // Вістник НТУ “ХПІ”: Автоматика и приборостроение. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2001. – Вип. 114. – С. 78 – 81.

35. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Метод компактного представления цветowych координат и длин серий // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 1(17). – С. 3 – 12.

36. Королев А.В., Баранник В.В. Оценка количества информации изображения по числу серий одинаковых элементов // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 2(18). – С. 43 – 46.

37. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Иерархически-конвейерная организация восстановления изображений // Збірник наукових праць ІПМС НАНУ. – К.: ІПМС НАНУ. – 2002. – Вип. 15. – С. 27 – 33.
38. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Оценка времени восстановления изображения // Збірник наукових праць ІПМС НАНУ. – К.: ІПМС НАНУ. – 2002. – Вип. 16. – С. 3 – 8.
39. Королев А.В., Баранник В.В. Оценка степени сжатия изображения // Электрон. моделирование. – 2002. – № 4. – С. 33 – 42.
40. Королев А.В. Разработка структурной организации процесса обработки видеоданных // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 4. – С. 103 – 106.
41. Королев А.В. Полиадическое кодирование одноцветных областей изображений по числу двоичных серий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 1. – С. 3 – 9.
42. Королев А.В. Версификационная избыточность изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 2. – С. 26 – 30.
43. Королев А.В. Метод полиадического кодирования трансформант ДКП по числу двоичных серий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 4, 5. – С. 3 – 9.
44. Королев А.В. Метод быстрого восстановления двоичных данных // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 4(20). – С. 25 – 29.
45. Королев А.В. Оценка информативности изображений по ограниченному числу двоичных серий в длинах одноцветных областей // АСУ и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 121. – С. 65 – 73.
46. Королев А.В. Метод восстановления длин одноцветных областей изображений по числу двоичных серий // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х.: НАУ “ХАІ”. – 2002. – № 29. – С. 84 – 88.
47. Королев А.В. Метод версификационного восстановления информации на основе ДКП // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2002. – Вып. 18. – С. 73 – 77.
48. Королев А.В. Помехоустойчивые свойства версификационных кодов трансформант ДКП // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАУ “ХАИ”. – 2002. – Вып. 14. – С. 86 – 90.
49. Королев А.В. Оценка информативности трансформант дискретного косинусного преобразования // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вип. 3. – С. 81 – 85.
50. Королев А.В. Обобщенная оценка информативности по отдельному признаку // Проблемы бионики. – 2002. – Вып. 56. – С. 56 – 59.
51. Королев А.В. Оценка помехоустойчивости комбинированных кодов трансформант // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 5(21). – С. 3 – 9.

52. Королев А.В. Способ быстрого кодирования двоичных данных // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАИМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 6(22). – С. 3–8.

53. Korolyov A.V., Soroka L.S. On the Application of Micropolygramme Imaging in Computer Terminals // Electronic modeliny. Printed in USA. 1982.

54. Korolyov A.V., Ruban I.V. Intraframe and Interframe Coding of Digital Colour Images // Engineering Simulation. – Malaysia. – 1997. pp. 449 – 457.

55. Korolyov A.V., Ruban I.V. Compression of Video Data by Boundary Element Series // Engineering Simulation. – N. Delhi. – 1998. pp. 595 – 605.

56. Korolyov A.V., Ruban I.V., Malachov S.V. Videodata Compression Method Based on Conversions // Engineering Simulation. Singapore. – 2000, pp. 497 – 506.

57. А.с. 1068982 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для формирования графической информации / Сергеев Б.И., Королев А.В., Лебедев С.М. и др. – № 3500532/18-24. Заявл. 15.10.1982; Оpubл. 23.01.1984. Бюл. № 3, 1984. – 7 с.

58. А.с. 1096675 (СССР). МПК G06F13/06. Устройство для сжатия и накопления графической информации / Сергеев Б.И., Королев А.В., Лебедев С.М., Паржин Ю.В. – № 3568086/18-24. Заявл. 24.03.1983; Оpubл. 07.06.1984. Бюл. № 21, 1984. – 10 с.

59. А.с. 1140148 (СССР). МПК G09G1/14. Устройство для преобразования графической информации / Сергеев Б.И., Королев А.В., Лебедев С.М. и др. – № 3482847/24-24. Заявл. 09.08.1982; Оpubл. 15.02.1985. Бюл. № 6, 1985. – 16 с.

60. А.с. 1159054 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для отображения графической информации / Сергеев Б.И., Сорока Л.С., Королев А.В. и др. – № 3587602/24-24. Заявл. 04.05.1983; Оpubл. 30.05.1985. Бюл. № 20, 1985. – 8 с.

61. А.с. 1399810 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для формирования цветowych сигналов графического изображения / Королев А.В., Петухов В.А. – № 4154257/24-24. Заявл. 01.12.1986; Оpubл. 30.05.1988. Бюл. № 20, 1988. – 4 с.

62. А.с. 1474726 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для формирования видеосигнала / Королев А.В., Петухов В.А., Сосновский Э.А. – № 4166787/24-24. Заявл. 25.12.1986; Оpubл. 23.04.1989. Бюл. № 15, 1989. – 2 с.

63. А.с. 1509869 (СССР). МПК G06F7/02. Устройство для сравнения кодов / Антоненко А.П., Королев А.В., Огарок А.Л., Сироджа И.Б. – № 4392572/24-24. Заявл. 14.03.1988; Оpubл. 23.09.1989. Бюл. № 35, 1989. – 7 с.

64. А.с. 1515400 (СССР). МПК H04N7/18. Устройство для сжатия цветowych сигналов телевизионных изображений / Королев А.В., Петухов В.А., Огарок А.Л., Сосновский Э.А. – № 4309334/24-09. Заявл. 04.08.1987; Оpubл. 15.10.1989. Бюл. № 38, 1989. – 6 с.

65. А.с. 1529471 (СССР). МПК H04N7/18. Устройство для сжатия цифровых ТВ-сигналов цветного изображения / Сидоренко Н.Ф., Королев А.В., Остроумов Б.В. и др. – № 4374219/24-09. Заявл. 02.02.1988; Оpubл. 15.12.1989. Бюл. № 46, 1989. – 10 с.

66. А.с. 1607080 (СССР). МПК H04N7/18. Устройство для сжатия цветowych сигналов ТВ-изображений / Королев А.В., Петухов В.А., Огарок Ал.Л. – № 4399344/24-09. Заявл. 18.02.1988; Оpubл. 15.11.1990. Бюл. № 42, 1990. – 7 с.

67. А.с. 1631752 (СССР). МПК H04N11/02. Адаптивное устройство для сжатия цветowych сигналов ТВ-изображений / Сидоренко Н.Ф., Королев А.В., Огарок Ал.Л. и др. – № 4472529/09. Заявл. 09.08.1988; Оpubл. 28.02.1991. Бюл. № 8, 1991. – 16 с.

68. А.с. 1633523 (СССР). МПК H04N7/18. Устройство для сжатия ТВ-сигналов цветowego изображения / Сидоренко Н.Ф., Королев А.В., Огарок Ал.Л. и др. – № 4675444/09. Заявл. 07.04.1989; Оpubл. 07.03.1991. Бюл. № 9, 1991. – 5 с.

69. А.с. 1658204 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для отображения информации на экране ТВ приемника / Сидоренко Н.Ф., Королев А.В., Огарок Ал.Л. и др. – № 4707584/24. Заявл. 19.06.1989; Оpubл. 23.06.1991. Бюл. № 23, 1991. – 5 с.

70. А.с. 1672589 (СССР). МПК H04N7/18. Телевизионная система с компрессией цифровых сигналов цветных изображений / Королев А.В., Петухов В.А., Огарок А.Л. и др. – № 4703919/09. Заявл. 12.06.1989; Оpubл. 23.08.1991. Бюл. № 31, 1991. – 9 с.

71. А.с. 1777169 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для формирования видеосигнала / Королев А.В., Логвин С.И., Петухов В.А. – № 4905446/24. Заявл. 02.11.1990; Оpubл. 23.11.1992. Бюл. № 43, 1992. – 5 с.

72. А.с. 1785033 (СССР). МПК G09G1/16. Устройство для формирования видимых сегментов изображений / Сидоренко Н.Ф., Королев А.В., Огарок А.Л. – № 4809997/24. Заявл. 04.04.1990; Оpubл. 30.12.1992. Бюл. № 48, 1992. – 8 с.

АНОТАЦІЯ

Корольов А.В. Теоретичні основи компактного представлення зображень на основі усунення версифікаційної надмірності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – "Телекомунікаційні системи та мережі" – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2003.

У дисертаційній роботі показано, що успішне і своєчасне рішення задач з використанням телекомунікаційних систем визначається ступенем забезпеченості необхідними обсягами інформаційних потоків. Розроблено теоретичні основи компактного представлення зображень на основі узагальненого усунення надмірності різної фізичної природи (версифікаційної надмірності). Розроблено теорію статистичної оцінки версифікаційної надмірності зображень, яка дозволила одержати кількісну оцінку ступеня надмірності, що скорочується. На основі теорії

версифікаційної надмірності розроблено методи стиску зображень без втрати і з контрольованою втратою якості. У цьому випадку стиск зображень досягається за рахунок послідовного усунення структурної, статистичної, комбінаційної і психовізуальної надмірності. Розроблено метод версифікаційного відновлення зображень, що забезпечує достовірне відновлення зображень. Розроблено швидкі алгоритми кодування і декодування кодів за числом серій.

Ключові слова: інформаційний потік, версія ознак, версифікаційна надмірність, довжина одноколірної області, поліадичне число, відношення сигнал/шум.

АННОТАЦИЯ

Королёв А.В. Теоретические основы компактного представления изображений на основе устранения версификационной избыточности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.02 – "Телекоммуникационные системы и сети" – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2003.

В диссертационной работе показано, что успешное и своевременное решение задач с использованием телекоммуникационных систем определяется степенью обеспеченности требуемыми объемами информационных потоков (ИП). При этом составляющей частью информационных потоков является видеoinформация, что приводит к резкому повышению объемов данных до порядка 10^3 Гбит. В тоже время технические возможности телекоммуникационных систем (ТС) не обеспечивают доведение в реальном времени требуемых объемов ИП (реально передаваемые объемы ИП до 10^4 раз меньше требуемых). Использование подсистем сжатия видеоданных (ПСВ) является наименее дорогостоящим средством повышения эффективности ТС. Однако, ПСВ также не позволяет передавать информацию в реальном времени с нужным качеством. В работе была обоснована основная проблемная сторона ПСВ – отсутствие единой теории обобщенного устранения различных по физической природе видов избыточности (версификационной избыточности). Для повышения эффективности ПСВ была разработана теория устранения версификационной избыточности и были также выбраны основные версии признаков. На основе полученной теории в диссертации разработаны методы сжатия изображений без потери и с контролируемой потерей качества на основе устранения версификационной избыточности по двум версиям признаков. В этом случае сжатие изображений достигается за счет: устранения структурной избыточности обусловленной однородностью физических свойств локальных фрагментов изображений, ограниченным

значением динамического диапазона, ограниченным числом серий одинаковых элементов; исключения психовизуальной избыточности, проявляющейся в уменьшении количества полутоновых областей; сокращении статистической избыточности, вызванной корреляцией между элементами массивов цветowych координат. Разработанные программные реализации метода сжатия изображений обеспечили большую степень сжатия относительно известных методов в среднем в **2,5** раза. При этом значения коэффициентов сжатия находятся в диапазоне от **2,6** до **300** раз в зависимости от степени насыщенности изображения. Для теоретической оценки степени устраняемой версификационной избыточности были разработаны теоретические основы статистической оценки версификационной избыточности по признакам версий 1 и 2, включающие систему выражений для оценки количества информации, приходящейся на элемент изображения и степени устраняемой избыточности в зависимости от вида матрицы информативности. Разработан метод версификационного восстановления изображений, обеспечивающий достоверное восстановление изображений (значение отношения сигнал/шум не менее **40 дБ**).

Для снижения временных затрат на обработку изображений за счет учета структурных особенностей обрабатываемых данных в совокупности со свойствами кодера разработаны быстрые алгоритмы кодирования и декодирования кодов по числу серий. Получены выражения для оценки временных затрат на обработку и передачу видеоданных в зависимости от степени насыщенности изображений. Расчеты, проведенные по этим выражениям, показали, что за счет разработанных методов обеспечивается дополнительное сокращение времени обработки и передачи видеоданных. При этом наименьший выигрыш по суммарному времени на обработку и передачу сжатых изображений по каналу связи с ошибками для разработанного метода относительно известных методов для сильно-, средне- и слабонасыщенных изображений, равный соответственно в среднем **2,8**, **3,1** и **2,6** раза.

Ключевые слова: информационный поток, версия признаков, версификационная избыточность, длина одноцветной области, полиадическое число, отношение сигнал/шум.

ABSTRACT

Korolyov A.V. Theoretical grounds of compact image representation on the basis of the versification redundancy elimination. - Manuscript.

Thesis on reception scientific degrees of the doctor of technical sciences on speciality 05.12.02 "Telecommunication systems and network", Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2003.

The author proves that successful and on-time decision of problems with the use of telecommunication systems is defined by the supply of required

volumes of information flows. Theoretical grounds of compact image representation on the basis of generalized elimination of redundancy of different physical nature (versification redundancy) are developed, as well as statistical theory of evaluation of versification redundancy of images which allowed the quantitative evaluation of the eliminated redundancy rate to be received. Methods of image contraction with the controlled loss of quality were developed on the basis of the theory of the versification redundancy. In this case image contraction is achieved due to the consequent elimination of structural, statistical and psycho visual redundancy. The method of image versification restoration which enables reliable images to be restored is developed. Fast algorithms of coding and decoding according to the number of series are elaborated.

Key words: information flow, version of signs, versification redundancy, the length of the one-colour area, polyadic number, signal/noise ratio.