

**Міністерство транспорту України
Українська державна академія залізничного транспорту**

Корольова Наталія Анатоліївна

УДК 621.327:681.5

**МЕТОДИ СТИСКУ І ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ
ПОЛІАДИЧНОГО КОДУВАННЯ МАСИВІВ ДОВЖИН СЕРІЙ ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ
ЧАСУ ОБРОБКИ І ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ**

05.12.02 – "Телекомунікаційні системи та мережі"

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту
Міністерства транспорту України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Поляков Петро Федорович, завідувач кафедри
"Транспортний зв'язок" Української державної
академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович,
професор кафедри "Автоматизації та комп'ютерних технологій"
Харківського державного технічного університету сільського
господарства Міністерства аграрної політики України, м. Харків;
кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник Паржин Юрій Володимирович,
старший науковий співробітник відділу
НДВНПВО, Харківського військового
університету Міністерства оборони України,
м. Харків.

Провідна установа Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра
"Безпеки інформаційних технологій", Міністерство освіти і науки
України, м. Харків.

Захист відбудеться "29" серпня 2002 р. о "13.00" 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 направляти за адресою:
Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий "05" липня 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

к.т.н., доцент

М.В.Книгавко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту однією з важливих задач є підвищення оперативності, вірогідності і повноти інформації про стан всіх об'єктів керування і контролю, що надається особі, яка приймає кінцеве рішення. Для вирішення цієї задачі необхідно підвищити продуктивність інформаційно-обчислювальних засобів для того, щоб інформація оброблялася і передавалася у реальному масштабі часу і формувати розвинуту структуру телекомунікаційної мережі. Ці заходи призведуть до різкого зросту обсягу даних, збільшення часу передачі інформації та зниження оперативності ухвалення рішення. Таким чином, необхідно розробити методи і засоби компактного представлення інформації (стиску даних), що дозволяють зменшити їхні обсяги і підвищити пропускну спроможність каналів зв'язку.

Аналіз відомих методів обробки і передачі інформації показав, що зменшення обсягу та часу передачі відеоінформації відбувається у результаті усунення надмірності. Значний внесок у рішення цієї проблеми зробили багато учених. Серед них Акушський І.Я., Александров В.В., Бабкін В.Ф., Вігтїх В.А., Гларіозов Г.Л., Горський Н.Д., Єремєєв І.С., Заболоцький В.М., Зубарєв Ю.М., Котельников В.А., Красильников М.М., Крічевський Р.Е., Куликовський О.В., Мановцев О.П., Онищенко Ю.О., Орищенко В.І., Рябко Б.Я., Свириденко В.А., Трофимов Б.Е., Штарьков Ю.М. та ін, а також з закордонних дослідників Барнслі М., Девіссон Л.Д., Джайн А.К., Зів Дж., Кунт М., Прэтт У.К., Шеннон К., Хартлі Р.Л., Хаффман Д.А., Хеммінг Р.В. та ін.

Проведений аналіз відомих методів, що здійснюють стиск без втрати якості, показав:

1. Тимчасові збитки на стиск зображень і їхню передачу досягають декількох десятків хвилин. При цьому кодування реалістичних зображень на основі методів довжин серій може збільшити їхній первісний обсяг до **2.5** разів.

2. Методи стиску, засновані на представленні зображень довжинами серій, не цілком скорочують надмірність зображень. Надмірність масивів довжин серій щодо теоретичної межі досягає **90 %**. Це обумовлено наявністю в масивах довжин серій комбінаторної надмірності.

Таким чином, розробка методу стиску зображень на основі поліадичного кодування довжин серій для зменшення часу обробки і передачі відеоінформації при збереженні її вірогідності є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках Національної програми інформатизації України та Комплексних цільових програм Укрзалізниці: "Програми підвищення безпеки руху на залізницях" та "Концепції інформатизації залізничного транспорту України". Основні результати дисертаційної роботи знайшли відбиток у 4-х звітах про НДР: "Розробка основ побудови вузла інформаційно - телекомунікаційної мережі ВАК" (шифр "Інтелект"; № 3588; Інв. № 11401); "Розробка методів і засобів обміну даними і виключення

надмірності інформації" (шифр "Око" № 3643; Інв. № 11517); "Розробка методів і засобів компактного представлення і розподілу відеоінформації" (шифр "Око – 2"; №3759; Інв. № 2197); "Інформаційно – телекомунікаційна мережа системи військової освіти МОУ" (шифр "Мережа"; №26/1/241).

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є зменшення часу обробки і передачі відеоінформації в АСУ ЗТ за рахунок скорочення надмірності зображень. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розробити метод стиску зображень на основі поліадичного кодування довжин серій, що відповідає вимогам щодо комплексу технічних засобів АСУ ЗТ, а саме, обробляти і передавати відеодані у реальному масштабі часу при збереженні вихідної якості зображення, за рахунок:

- забезпечення відповідності масивів довжин серій вимогам поліадичних кодів;
- зниження числового діапазону елементів зображень на мінімальне значення у масиві;
- скорочення надмірності у стовпці масиву довжин серій;
- комбінування простих та узагальнених поліадичних кодів;
- виключення надмірності в змінній кількості (послідовності) стовпців масиву довжин серій;

2. Розробити метод відновлення зображень по поліадичних кодах довжин серій, що забезпечує:

- декодування комбінованих поліадичних кодів масивів довжин серій;
- декодування простих і узагальнених поліадичних кодів;
- одержання вихідних елементів зображень на основі організації відповідності масивів довжин серій і масивів колірних координат.

3. Розробити програмно-апаратні реалізації методів стиску і відновлення зображень.

Об'єкт дослідження. Відеоінформація, яка використовується при обробці й передачі в АСУ ЗТ.

Предмет дослідження. Стиск відеоінформації, що циркулює в АСУ ЗТ.

Методи дослідження. Дослідження ролі підсистем стиску відеоданих у процесі функціонування АСУ ЗТ ґрунтувалося на методах теорії складних систем. Дослідження властивостей довжин серій проводилося на базі методів структурного аналізу зображень. Для отримання виразу, що визначає ентропії розподілу значень поліадичних кодів, визначення надмірності поліадичних кодів відносної ентропії джерела зображень, використовувалися методи теорії ймовірностей і математичної статистики, методи теорії інформації. Визначення середньої довжини комбінованого поліадичного коду довжин серій ґрунтувалося на методах теорії ймовірностей і математичної статистики. При одержанні аналітичного виразу для визначення відношення сигнал/помилка використовувалися методи статистичної теорії зв'язку. Оцінка

адекватності теоретичних і практичних результатів проводилася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена вирішенням задач зменшення часу передачі й обробки відеоінформації в АСУ ЗТ при збереженні високої якості її представлення за рахунок скорочення надмірності зображень. Вперше отримані наступні наукові результати:

1. Розроблено і досліджено метод стиску відеоінформації без втрати якості, заснований на поліадичному кодуванні масивів довжин серій. Розроблений метод стиску відрізняється від відомих методів тим, що:

- уперше запропоновано здійснювати компактне представлення довжин серій поліадичними кодами;

- у результаті формування масивів довжин серій і поліадичних кодів уперше стиск зображень досягається за рахунок виключення відповідно структурної і комбінаторної надмірності;

- запропоновано правило відбору найбільш надлишкових стовпців довжин серій для утворення комбінованих поліадичних кодів (отримано вперше);

- уперше шляхом зваженого формування значення результуючого коду забезпечується пакування послідовностей довжин серій у машинні слова фіксованих розмірів.

2. Розроблено і досліджено метод відновлення зображень, заснований на декодуванні поліадичних кодів довжин серій. Розроблений метод відновлення зображень відрізняється від відомих методів тим, що вперше забезпечується:

- декодування поліадичних кодів масивів довжин серій;

- визначення кількості стовпців довжин серій, для яких формувався комбінований поліадичний код з метою його декодування;

- докладне відновлення послідовностей довжин серій за значеннями зважених результуючих кодів.

3. Вперше отримано аналітичний вираз для ентропії поліадичних кодів довжин серій, що дозволяє визначити максимально досяжний ступінь стиску.

4. Уперше на основі правила добору найбільш надлишкових стовпців масиву довжин серій виведено аналітичний вираз для визначення значення коефіцієнта стиску послідовності однакових елементів зображень. Розрахунки, проведені відносно цього методу довели, що значення коефіцієнта стиску послідовності однакових елементів зображення знаходяться в межах від **23** до **250** (у залежності від класу зображення і параметрів методу стиску).

5. Вперше отримано аналітичний вираз для відношення сигнал/помилка на прийомній стороні. На основі цього виразу можна оцінити перешкодостійкість поліадичних кодів довжин серій до помилок у каналі зв'язку.

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

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному:

1. Розроблені програмно – апаратні реалізації методу стиску зображень на основі поліадичного кодування масивів довжин серій, що дозволили додатково щодо відомих методів компресії збільшити стиск у середньому в **2.5** рази і для швидкостей передачі по каналу зв'язку $U_{\Pi} = 2400 \left(\frac{\text{біт}}{\text{с}} \right)$, $U_{\Pi} = 9600 \left(\frac{\text{біт}}{\text{с}} \right)$ і швидкості кодування $U_{\text{к}} = 10^7 \left(\frac{\text{оп.}}{\text{с}} \right)$, знизити сумарний час на обробку і передачу відеоінформації в АСУ ЗТ у середньому додатково на **70 %** .

2. Розроблені програмно–апаратні реалізації методу відновлення зображень на основі декодування поліадичних кодів довжин серій, що забезпечують відношення сигнал/помилка на прийомній стороні не менше **40дБ**, якщо ймовірність помилки в каналі зв'язку не перевищує 10^{-3} . Крім того, розроблений метод відновлення дозволяє підвищити перешкодостійкість стиснутих даних відносно помилок у каналі зв'язку від **15** до **35дБ** у залежності від ступеня насиченості зображень та ймовірності помилки у каналі зв'язку. У випадку відсутності помилок у каналі зв'язку вихідні відеодані відновлюються без похибки.

Результати дисертації використовувалися при виконанні досвідно–конструкторських робіт на НТ СКБ "ПОЛІСВІТ" (акт реалізації від 09.01. 2002 р.), у ТОВ НПП "Желдоравтоматика" (акт реалізації від 08.02. 2002 р.), у центрі прийому наукової інформації НКАУ (акт реалізації від 26.12.2001 р.), а також у навчальному процесі ХВУ (акт реалізації від 12.01.2002 р.).

Особистий внесок автора дисертаційної роботи в приведених публікаціях, виконаних у співавторстві, полягає в наступному: в статті [1] – отримано вираз для обчислення коефіцієнта стиску зображень на основі спільного використання методів довжин серій і методів, що скорочують психовізуальну надмірність, у статті [3] - проведена оцінка показника вірогідності відновлених зображень; у статті [4] - виведені вирази для визначення математичного чекання значень основ поліадичних чисел; у статті [5] - обґрунтована відповідність вимог масивів довжин серій властивостям поліадичних кодів; у статті [7] - розроблено метод відновлення фрагментів зображення на основі декодування простих поліадичних кодів; у статті [8] - отримано вираз для оцінки значення середньоквадратичного показника похибки відновлення, викликаной помилками в інформаційній частині кодової комбінації; у статті [9] - запропоновано спосіб виявлення довжин серій для підвищення відповідності особливостям поліадичних кодів; у статті [10] - обґрунтована необхідність комбінованого кодування масивів довжин серій для додаткового підвищення коефіцієнта стиску зображень; у статті [11] - проведена оцінка інформаційної ємності масивів довжин серій у залежності від ступеня насиченості зображень дрібними деталями різного кольору; у статті [12] - запропоновано спосіб скорочення динамічного діапазону масивів довжин серій; у

статті [13] - проведена порівняльна оцінка різних способів організації відновлення зображень; у патентах [14], [16] - розроблено алгоритми роботи пристроїв для стиску цифрових відеоданих; у патенті [15] – надається теоретичне обґрунтування принципу роботи пристрою для стиску відеоданих.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і були схвалені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах:

- 12 - 14-й міжнародних школах-семінарах "Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті" (м. Алушта, 1999 – 2001 рр.);
- науково-технічних семінарах "Синтез, обработка и отображение информационных моделей" Наукової ради НАНУ по проблемі "Теоретическая электротехника и электронное моделирование" (1999–2002 рр.);
- науково – технічної конференції. - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ.- 1999 р.;
- науково–технічної конференції "Удовлетворение потребностей населения больших городов в перевозках" (м. Харків, серпень 2000 р.);
- на 63-й науково–технічній конференції ХарДАЗТ та фахівців залізничного транспорту (м. Харків, листопад 2001 р.);
- міжнародних НТК "Проблемы информатики и моделирования", м. Харків: НТУ "ХП", 2001 р.;
- науково – технічних семінарах кафедри "Транспортний зв'язок" ХарДАЗТ (2000 – 2002 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладені в 27 наукових працях, що включають 13, наукових статей, 3 патенти України, 7-и тез – доповідей, 4 звіти по НДР.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'ятьох розділів, висновку, списку літератури та 4 додатків. Робота викладена на 155 сторінках машинописного тексту, а також містить: 11 таблиць та 63 ілюстрації, що займають 25 сторінок, 4 додатки на 25 сторінках. Дисертація написана російською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ показано, що для своєчасного і правильного рішення задач керування залізничним транспортом (ЗТ) потрібно використовувати методи і засоби стиску відеоданих. Формулюється показник якості та критерій ефективності процесу стиску і передачі відеоінформації. Вибирається напрямок дослідження до розробки методу стиску.

Час і правильність рішення задач керування залізничним транспортом (ЗТ) залежить від часу обробки (сума тимчасових витрат на кодування T_k і декодування T_d) і передачі відеоінформації по каналу зв'язку T_{np} і вірогідності її одержання h . Тому сумарний час T_{var} передачі відеоінформації дорівнює $T_{var}=T_k+T_d+T_{np}$, а показником вірогідності h є значення відношення сигнал/помилка (ВСП).

Оскільки відеодані є цифровими масивами великих обсягів і мають велику надмірність, то зменшення сумарного часу T_{var} в АСУ ЗТ можливо за рахунок використання методів стиску. При цьому аналіз розв'язуваних задач в АСУ ЗТ виявив необхідність використання методів стиску без втрати якості. Однак ці методи не дозволяють обробляти і передавати відеодані в реальному масштабі часу, а також не забезпечують заданого рівня перешкодостійкості до помилок у каналі зв'язку, що обумовлено:

- зменшенням кількості найпростішої структурної надмірності для реалістичних зображень;
- наявністю сильного ступеня поширення помилки в одній довжині серії, по всьому кадру.

Так для імовірності помилки більше 10^{-4} ВСП не перевищує **10дБ**, що відповідає незадовільній якості;

- проблемою вибору максимальної довжини серії ℓ_{max} .

У той же час аналіз структурних властивостей масивів довжин серій виявив наявність у них великої надмірності, що досягає **90 %**.

Таким чином, пропонується досліджувати можливість додаткового збільшення ступеня стиску зображень за рахунок використання методів поліадичного кодування.

У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ досліджуються фізичні властивості поліадичних кодів довжин серій. Розробляється модель компактного представлення серій однакових елементів зображень поліадичними кодами. Дано фізичне і теоретичне обґрунтування сумісності масивів довжин серій і поліадичних кодів.

У загальному випадку поліадичне кодування задається виразом

$$N_j = \sum_{i=1}^{m_{dc}} \ell_{ij} \left(\prod_{\xi=i+1}^{m_{dc}} \lambda_{\xi} \right), \quad (1)$$

де ℓ_{ij} – числове значення i -ї довжини серії; m_{dc} – кількість рядків у масиві \mathbf{L} ; λ_{ξ} – основа поліадичного числа;

При цьому масив довжин серій буде мати надмірність, якщо виконується нерівність

$$\prod_{\xi=1}^{m_{dc}} \lambda_{\xi} \leq (\ell_{max} + 1)^{m_{dc}}. \quad (2)$$

З аналізу виразів (1) і (2) випливає: якщо значення максимумів λ_{ξ} обмежені зверху чи мають нерівномірний розподіл, то за рахунок поліадичного кодування буде досягнуто компактне представлення масивів \mathbf{L} .

На основі аналізу властивостей довжин серій виявлені наступні особливості:

1. Для потужнонасичених зображень характерні масиви довжин серій з обмеженим динамічним діапазоном. Це пояснюється невеликими значеннями довжин серій.
2. Найбільше значення динамічного діапазону відповідає штучним зображенням. Однак, для штучних зображень характерні великі області, зафарбовані одним кольором, що створює можливість скорочення динамічного діапазону довжин серій.
3. Більшості реалістичних зображень відповідає швидко змінюючий ступінь насиченості, що призводить до різних значень λ_{ξ} у рядках масиву \mathbf{L} .

Отже, на основі аналізу фізичних особливостей довжин серій можна стверджувати про наявність у них комбінаторної надмірності, тобто для широкого класу зображень буде виконуватися нерівність (2).

Для теоретичного обґрунтування можливості компактного представлення довжин серій поліадичними кодами, а також для оцінки кількості надмірності, що додатково скорочується, отримано вираз для обчислення m_N математичного чекання поліадичного числа довжин серій

$$m_N = \min \left(\frac{1 - q^{\ell_{\max}}}{p}, m[\lambda] \right) \times \sum_{i=1}^{m_{\text{дс}}} \left\langle \left(\sum_{u=1}^{\ell_{\max}-1} \left(\sum_{\eta=1}^u q^{\eta-1} p \right)^{n_{\text{дс}}} - \left(\sum_{\eta=1}^{u-1} q^{\eta-1} p \right)^{n_{\text{дс}}} \right) + \ell_{\max} \times \left(1 - \left(\sum_{\eta=1}^{\ell_{\max}-1} q^{\eta-1} p \right)^{n_{\text{дс}}} \right) \right\rangle^{m_{\text{дс}}-i}. \quad (3)$$

Тоді коефіцієнт k_d додаткового стиску знаходиться по формулі

$$k_d = \frac{\bar{\ell}_{\text{дс}}}{\ell}, \quad (4)$$

де $\bar{\ell}_{\text{дс}}$ середня кількість розрядів, що затрачена на кодове представлення довжини серії до поліадичного кодування $\bar{\ell}_{\text{дс}} = \log_2 m[\ell_{ij}]$.

Проведені за формулами (3) і (4) розрахунки довели, що значення додаткового коефіцієнта стиску k_d за рахунок поліадичного кодування стовпців масиву довжин серій знаходяться в межах від **1.5** до **16**. Це є теоретичним обґрунтуванням можливості сполучення поліадичних кодів і довжин серій для додаткового підвищення ступеня стиску зображень.

У ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ розробляється метод стиску зображень на основі простого й узагальненого поліадичного кодування масивів довжин серій. Запропоновано організацію масивів довжин серій і спосіб скорочення динамічного діапазону.

Перед початком поліадичного кодування потрібно з окремих довжин серій сформувати масиви \mathbf{L} з розмірами $m_{dc} \times n_{dc}$ і значеннями довжин серій, обмеженими зверху величиною ℓ_{max} . При цьому для виключення втрат інформації через переповнення розрядної сітки і забезпечення рівномірної довжини кодових комбінацій пропонується організувати масиви довжин серій за наступними правилами:

1. Для фіксованого m_{dc} значення ℓ_{max} дорівнює $\ell_{max} = \sqrt[m_{dc}]{2^M - 1}$, де M – довжина машинного слова.
2. Елементи ℓ_{ij} виявляються по рядковому розгортанню і заповнюють масив \mathbf{L} по стовпцях.

При цьому стиск фрагмента зображення буде досягнуто, якщо розмірність постійного простору $\mathbf{R}_{пк}$ буде менше розмірності вихідного простору \mathbf{R}_f :

$$|\mathbf{R}_{пк}| < |\mathbf{R}_f|. \quad (5)$$

Нерівність (5) доводиться для розмірності плаваючого простору $|\mathbf{R}_{пл}|$, де $|\mathbf{R}_{пл}| = \sum_{j=1}^{n_{dc}} \log_2 N_j$.

Доказ засновано на розгляді самого гіршого випадку: число однакових елементів у серіях дорівнює одиниці, а заздалегідь прийнята максимально можлива довжина серії ℓ_{max} , яка перевищує максимально можливе значення параметра візуалізації \mathbf{B} :

$$\begin{cases} \ell_{ij} = 1, i = \overline{1, m_{dc}}, j = \overline{1, n_{dc}}; \\ \ell_{max} > \mathbf{B}. \end{cases} \quad (6)$$

З обліком (6) розмірність $|\mathbf{R}_{пл}|$ буде обмежена зверху величиною

$$|\mathbf{R}_{пл}| = \sum_{j=1}^{n_{dc}} \log_2 N_j < n_{dc} \log_2 2^{m_{dc}} = n_{dc} m_{dc}. \text{ З іншого боку, за умовою (6), кількість елементів у}$$

масиві довжин серій дорівнює кількості елементів у фрагменті зображення, тоді буде виконуватися нерівність $|\mathbf{R}_{пл}| < n_{dc} m_{dc} = n_{стр} v_{стр} < n_{стр} v_{стр} \log_2 \mathbf{B} = |\mathbf{R}_f|$.

Таким чином, поліадичні числа компенсують неточність вибору значення ℓ_{max} і забезпечують підвищення коефіцієнта стиску зображень.

Однак, розмірність $|\mathbf{R}_{пк}|$ буде більш за розмірність $|\mathbf{R}_{пл}|$. У той же час, за умовою поліадичного кодування довжина N_j постійна і дорівнює \mathbf{M} . Тому для зниження розмірності $|\mathbf{R}_{пк}|$ пропонується:

1. Скоротити динамічний діапазон масивів довжин серій

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

2. Проводити комбіноване поліадичне кодування масивів довжин серій

Комбіноване поліадичне кодування враховує розходження в значеннях N_j . Якщо стовпці масивів довжин серій мають невеликі значення чисел N_j (для потужнонасичених і штучних зображень), то для них може бути обчислений загальний поліадичний код. У іншому випадку, для стовпців масиву \mathbf{L} , яким відповідають такі числа N_j , коли $\ell \log_2 N_j \rightarrow M$, поліадичний код формується окремо для кожного стовпця. Комбіноване кодування починається з обчислення поліадичних чисел N_j для кожного стовпця масиву довжин серій. Потім проводиться вибір стовпців довжин серій, для яких можна сформувавши загальний поліадичний код без переповнення довжини машинного слова. Для цього послідовно в напрямку ліворуч – праворуч обчислюються накопичені добутки поліадичних чисел стовпців масиву \mathbf{L} . На заключному етапі для відібраних стовпців обчислюється загальне поліадичне число $N_{n_{dc}}^* : N_{n_{dc}}^* = \Phi_{ок} \left\{ \ell_{ij} \right\}_{\substack{i=1, m_{dc} \\ j=1, n_{dc}}}$ (де $\Phi_{ок} \{ \}$ - оператор

узагальненого кодування), тобто комбіноване поліадичне кодування враховує структурні властивості оброблюваних областей реалістичних зображень, а також скорочення динамічного діапазону масивів довжин серій. Це забезпечить виконання нерівності (5), а, отже, буде досягнуто підвищення ступеня стиску зображень.

Таким чином, розроблено метод стиску зображень за рахунок комбінованого поліадичного кодування масивів довжин серій зі зменшеним діапазоном, у результаті якого виключається надмірність у декількох стовпцях масиву \mathbf{L} . Максимальний ступінь стиску на основі розробленого методу досягається для наступних параметрів: $M = 64$ розряди, розмірів $m_{dc} \times n_{dc} = 8 \times 16$, $\ell_{max} = 128$ і складає від **1.6** разів до **70** разів у залежності від класу зображення.

У ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ розробляється метод відновлення зображень на основі декодування комбінованих поліадичних кодів довжин серій. Розробляється ієрархічно – конвеєрна організація виконання дій, що відновлюють. Виводиться вираз для визначення відносини сигнал/помилка на прийомній стороні.

1. Розроблено метод відновлення зображень, що забезпечує: - декодування простих і узагальнених поліадичних кодів; - відновлення масивів довжин серій; - порівняння масивів кольорних координат \mathbf{C} і масивів довжин серій \mathbf{L} .

Розроблений метод відновлення дозволяє: - отримати зображення без втрати якості; - виключити витрати машинних операцій на пошук і вибірку зон масивів \mathbf{L} і \mathbf{Z} ; - знизити кількість звертання до ЗЗП, а також скоротити кількість операцій на зіставлення узагальненого поліадичного коду і необхідних стовпців масиву кольорних координат.

2. Підвищення перешкодостійкості поліадичних кодів довжин серій до помилок у каналі зв'язку щодо існуючих кодів довжин серій у середньому від **15** до **35дБ**, у залежності від ймовірності кольорного перепаду. При цьому підвищення перешкодостійкості поліадичних кодів

довжин серій до **50дБ** досягається найбільш всього за рахунок локалізації помилок та самокорекції помилок до **5дБ**.

3. За рахунок локалізації і самокорекції помилок поліадичні коди довжин серій можна передавати без додавання коригувальних розрядів для імовірності помилки в каналі зв'язку менше 10^{-4} . При цьому досягається значення відношення сигнал/помилка **h**, яке дорівнює приблизно **40дБ**, що дозволяє відновлювати зображення з високою якістю.

У П'ЯТОМУ РОЗДІЛІ порівнюються характеристики розробленого й існуючих методів стиску зображень, розробляється схемотехнічна реалізація запропонованого методу. На основі порівняльної оцінки розробленого методу з існуючими можна зробити наступні основні висновки:

1. У залежності від ступеня насиченості реалістичних зображень значення коефіцієнта стиску для розробленого методу знаходяться в межах від **2.5** до **35**, що в середньому в **2.5** рази перевищує значення, отримані для існуючого модифікованого методу довжин серій (ММДС).

2. Для швидкостей передачі $U_{\Pi} = 2400 \left(\frac{\text{біт}}{\text{с}} \right)$, $U_{\Pi} = 9600 \left(\frac{\text{біт}}{\text{с}} \right)$ і швидкості кодування $U_k = 10^7 \left(\frac{\text{оп.}}{\text{с}} \right)$ сумарний час на обробку і передачу стиснутих даних по каналу зв'язку T_{var} для розробленого методу в середньому в **2** рази менше, ніж час T_{var} для методу ММДС. З врахуванням перешкодостійкого кодування перевага розробленого методу за часом T_{var} щодо методу ММДС зростає до **2.5** разів, що пояснюється збільшенням тимчасових витрат для методу ММДС, викликаних додатковим введенням коригувальних (надлишкових) розрядів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблено методи стиску і відновлення зображень на основі поліадичного кодування масивів довжин серій.

Аналіз відеоінформації, використовуваної при рішенні задач керування залізничним транспортом (ЗТ) показав, що зображення являють собою цифрові масиви з обсягом до **10⁹** біт, що мають надмірність до **90 %**. Це робить неможливим обробку й передачу відеоданих в АСУ ЗТ у реальному масштабі часу при збереженні високої якості зображень. Тому задача розробки методів стиску зображень без втрати якості є актуальною.

Основні наукові результати:

1. Розроблено метод стиску відеоінформації без втрати якості, заснований на поліадичному кодуванні масивів довжин серій, що дозволяє:

- здійснювати компактне представлення довжин серій поліадичними кодами рівномірної довжини;

- забезпечити стиск зображень за рахунок виключення структурної і комбінаторної надмірності;

- формувати комбіновані коди шляхом добору найбільш надлишкових стовпців довжин серій.

2. Розроблено метод відновлення зображень, заснований на декодуванні поліадичних кодів довжин серій, що забезпечує:

- декодування поліадичних кодів масивів довжин серій;

- визначення кількості стовпців довжин серій, для яких було сформовано комбінований код з метою його декодування;

- докладне відновлення послідовностей довжин серій за значеннями зважених результуючих кодів.

3. Отримано аналітичні вирази для отримання ентропії і середньої довжини поліадичних кодів довжин серій, що дозволяють визначити максимально досяжний і середній ступінь стиску.

4. Виведено аналітичний вираз для визначення відношення сигнал/помилка на прийомній стороні. На основі цього виразу можна оцінити перешкодостійкість поліадичних кодів довжин серій до помилок у каналі зв'язку.

Основні практичні результати:

1. Розроблено програмно–апаратні реалізації методу стиску зображень на основі поліадичного кодування масивів довжин серій, що дозволили додатково, щодо відомих методів компресії, збільшити стиск у середньому в **2.5** рази і для швидкостей передачі по каналу зв'язку

$U_{\text{п}}=2400\left(\frac{\text{біт}}{\text{с}}\right)$, $U_{\text{п}}=9600\left(\frac{\text{біт}}{\text{с}}\right)$ і швидкості кодування $U_{\text{к}}=10^7\left(\frac{\text{оп.}}{\text{с}}\right)$ знизити сумарний час на

обробку і передачу відеоінформації в АСУ ЗТ у середньому додатково на **70 %** .

2. Розроблені програмно–апаратні реалізації методу відновлення зображень на основі декодування поліадичних кодів довжин серій, що забезпечують відношення сигнал/помилка на прийомній стороні не менше **40дБ**, якщо імовірність помилки в каналі зв'язку не перевищує **10^{-3}** . Крім того, розроблений метод відновлення дозволяє підвищити перешкодостійкість стиснутих даних відносно помилок у каналі зв'язку від **15** до **35дБ** у залежності від ступеня насиченості зображень та ймовірності помилки у каналі зв'язку.

Вірогідність отриманих результатів обґрунтовується їхньою несуперечністю основним положенням теорії інформації й кодування, а також підтверджується адекватністю результатів експериментальних досліджень, отриманих у ході функціонування розробленої програмної моделі, теоретичних даних, отриманих, щодо наведених аналітичних виразів.

**ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ
ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ ПРАЦЯХ**

1. Королёва Н.А., Новиков В.И. Оценка коэффициента сжатия гибридного метода кодирования видеоданных // ИУСЖТ. - 1999.- №4.- С. 36 – 39.
2. Королёва Н.А. Оценка эффективности обработки видеoinформации методом длин серий // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1999. – Вип. 2(6).- С. 181 – 185.
3. Рубан И.В., Королёва Н.А., Андреев В.М. Сжатие видеоданных с улучшенными характеристиками восстановления изображений // ИУСЖТ.- 2000. - №3. - С. 56 – 58.
4. Баранник В.В., Королёва Н.А. Математическая модель представления серий элементов изображений полиадическими кодами // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 3(13). – С. 174 – 178.
5. Баранник В.В., Королёва Н.А. Обоснование возможности компактного представления длин серий полиадическими кодами // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 4(14). – С. 72 – 77.
6. Королёва Н.А. Сжимающее отображение на основе кодирования массивов длин серий // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 5(15). – С. 67 – 74.
7. Поляков П.Ф., Баранник В.В., Королёва Н.А. Метод восстановления изображений // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 6(16). – С. 140 – 145.
8. Баранник В.В., Королёва Н.А. Определение отношения сигнал/ошибка при декодировании полиадических кодов длин серий // ИУСЖТ.- 2001.- №3.- С. 31 – 38.
9. Баранник В.В., Королёва Н.А. Организация массивов длин серий для полиадического кодирования // ИУСЖТ.- 2001.- №4.- С. 20 – 23.
10. Поляков П.Ф., Баранник В.В., Королёва Н.А. Метод комбинированного полиадического кодирования массивов длин серий // ИУСЖТ.- 2001.- №5. - С. 42 – 46.
11. Баранник В.В., Королёва Н.А. Информационная модель представления серий элементов изображений полиадическими кодами // АСУ и приборы автоматики.- 2001.- № 117 .- С. 37 – 43.
12. Баранник В.В., Королёва Н.А. Способ сокращения динамического диапазона массивов длин серий // АСУ и приборы автоматики. - 2002.- №118.- С. 5 - 8.
13. Баранник В.В., Королёва Н.А. Иерархически–последовательная организация восстановления изображения // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 1 – С. 77 - 81.
14. Патент 36780А. Україна. МПК Н04N7/18. Пристрій для стиснення цифрових телевізійних сигналів кольорового зображення / Гришко А.В., Гіневський О.М., Клименко К.С., Корольова Н.А. – №2000020680; Заявл. 08.02.2000; Опубл. 16.04.2000. Бюл. №3, 2001. – 3 с.

15. Патент 36809А. Україна. МПК НО4N7/18. Пристрій для стиснення цифрових телевізійних сигналів кольорового зображення / Стрюк О.Ю., Корольова Н.А., Поляков В.П. – №2000020747; Заявл. 10.02.2000; Опубл. 16.04.2000. Бюл. №3, 2001. – 5 с.

16. Патент 43715А Україна. МПК 606F07/04. Пристрій для порівняння чисел / Бохан К.О., Корольова Н.А., Кучук Г.А. – №2001053572; Заявл. 28.05.2001; Опубл. 17.12.2001. Бюл. №11, 2001. – 2 с.

АНОТАЦІЯ

Корольова Н.А. Методи стиску і відновлення зображень на основі поліадичного кодування масивів довжин серій для скорочення часу обробки і передачі інформації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - "Телекомунікаційні системи та мережі" - УкрДАЗТ, Харків, 2002.

У дисертаційній роботі наведено, що своєчасність і точність рішення задач по управлінню залізничним транспортом залежить від оперативності й вірогідності обробки та передачі відеоінформації. Розроблено метод стиску зображень на основі формування масивів довжин серій зі зменшеним діапазоном та їх комбінованим поліадичним кодуванням. У цьому випадку стиск зображень досягається за рахунок скорочення структурної й комбінаторної надмірності. Розроблено метод відновлення зображень, що забезпечує декодування комбінованих кодів, ієрархічно – конвеєрну організацію отримання відеоданих і підвищення перешкодостійкості стиснутих даних до помилок у каналі зв'язку.

Ключові слова: відеодані, поліадичне число, довжини серій, перешкодостійкість, надмірність.

АННОТАЦИЯ

Королева Н.А. Методы сжатия и восстановления изображений на основе полиадического кодирования массивов длин серий для уменьшения времени обработки и передачи информации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - "Телекоммуникационные системы и сети" - УкрГАЗТ, Харьков, 2002.

В диссертационной работе показано, что своевременность и точность решения задач по управлению железнодорожным транспортом зависит от оперативности и достоверности обработки и передачи видеоинформации. Это обусловлено широким использованием изображений больших объемов в качестве источника информации. Обоснована необходимость

передачи изображений с сохранением высокого качества (без потерь качества). Проведен анализ известных методов компактного представления видеoinформации без потери качества, который показал, что они не обеспечивают необходимой степени сжатия, достаточной для решения задач в реальном режиме времени. В работе было доказано, что массивы длин серий имеют большое количество комбинаторной избыточности. Разработан и исследован метод сжатия видеoinформации без потери качества, основанный на полиадическом кодировании массивов длин серий. Данный метод позволяет осуществлять компактное представление длин серий полиадическими кодами, формировать массивы длин серий и полиадических кодов, отбирать наиболее избыточные столбцы длин серий для образования комбинированных полиадических кодов, обеспечивать упаковку последовательностей длин серий в машинные слова фиксированных размеров, учитывать динамический диапазон представления длин серий. Разработаны программно-аппаратные методы реализации методов сжатия изображений на основе полиадического кодирования массивов длин серий, которые позволили дополнительно относительно известных методов компрессии увеличить сжатие в среднем 2,5 раза, снизить суммарное время на обработку и передачу видеoinформации в среднем на 70%. В этом случае сжатие изображений достигается за счет сокращения при формировании массивов длин серий структурной избыточности и устранения комбинаторной избыточности в полученных массивах длин серий в результате их полиадического кодирования. Выведены аналитические выражения, позволяющие вычислить энтропию и среднюю длину полиадических кодов длин серий в зависимости от степени насыщенности изображений мелкими деталями. На основе этих выражений найдены максимальное и среднее значения коэффициента сжатия изображений разработанным методом. Разработан и исследован метод восстановления изображений, который обеспечивает декодирование полиадических кодов массивов длин серий, определение количества столбцов длин серий, для которых формировался комбинированный полиадический код с целью его декодирования, восстановление последовательностей длин серий по значениям взвешенных результирующих кодов, сопоставление массивам длин серий соответствующих цветовых координат, иерархически–конвейерную организацию выполнения восстанавливающих действий и повышение помехоустойчивости сжатых данных к ошибкам в канале связи. Разработаны программно-аппаратные реализации метода восстановления изображений на основе декодирования полиадических кодов длин серий, обеспечивающие отношение сигнал/шум на приемной стороне не меньше 40дБ. Кроме того, разработанный метод восстановления позволяет повысить помехоустойчивость сжатых данных к ошибкам в канале связи от 15дБ до 35дБ в зависимости от степени насыщенности изображений и вероятности ошибки в канале связи. В случае отсутствия ошибок в канале связи исходные видеоданные восстанавливаются без погрешности. Получено выражение для оценки временных затрат на обработку и передачу

видеоданных в зависимости от степени насыщенности изображений и вероятности ошибки в канале связи. Расчеты, проведенные по этому выражению, показали, что за счет разработанных методов обеспечивается дополнительное сокращение времени обработки и передачи видеоданных. Дано сравнение характеристик разработанного и существующих методов сжатия и восстановления изображений. Разработаны и приведены патентоспособные технические реализации предложенного метода сжатия.

Ключевые слова: видеоданные, полиадическое число, длины серий, помехоустойчивость, избыточность.

ABSTRACT

Korolyova N.A. Methods of compression and recovering the expressing on the base of poliadical coding the arrays of lengths of series for reducing a time of processing and transmissions information. - Manuscript.

Thesis on reception scientific degrees of candidate of technical sciences on professions 05.12.02 - "Telecommunication systems and network" - Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2002.

In thesis functioning is shown that timeliness and accuracy of deciding the tasks on rail-freight traffic control depends on velocity and validity of processing and transmissions an videoinformation. Designed method of compression of expressing on the base of shaping the arrays of lengths of series with the reduced range and its multifunction poliadical coding. In this case compression of expressing is reached to the account of shortening of structured and combinatorial redundancy. Designed method of recovering the expressing, which ensures a decoding the multifunction codes, hierarchical - a pipeline organisation of performing the restoring actions and increasing of noise-immunity compressed given to errors in the relationship channel.

Key words: videodata, poliadical coding, lengths of series, noise-immunity, redundancy.

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

Методи стиску і відновлення зображень на основі поліадичного кодування масивів довжин серій для скорочення часу обробки і передачі інформації

05.12.02 – "ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ"

КОРОЛЬОВА НАТАЛІЯ АНАТОЛІЇВНА

Підписано до друку .07.2002.

Умовн.-друк.Арк. - 1.25

Обл.-друк.арк. – 1.0

Формат паперу 60x84 1/16, Папір писальний.

Тираж 100

Зам. №

Безкоштовно

**Видавництво Укрдазту. Свідоцтво Дк №112 Від 06.07.2000р.
Друкарня Укрдазту, 61050 Харків-50, Пл. Фейсрбаха, 7.**