

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

Баранник Володимир Вікторович

УДК 629.391: 681.5

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИ СТИСКУ ЗОБРАЖЕНЬ В
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА ПІДСТАВІ
БІНОМІАЛЬНО-ПОЛІАДИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському університеті Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Міністерства оборони України.

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор Стасєв Юрій Володимирович заступник начальника Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба з навчальної та наукової роботи, Міністерства оборони України, м. Харків.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, Козелков Сергій Вікторович, професор кафедри Національної академії оборони України, Міністерства оборони України, м. Київ;

доктор технічних наук, професор Федорович Олег Євгенович, завідувач кафедри "Інформаційні керуючі системи" Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Міністерства освіти і науки України, м. Харків;

доктор технічних наук, професор Хаханов Володимир Іванович, декан факультету комп'ютерної інженерії і управління Харківського національного університету радіоелектроніки, Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Провідна установа

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, кафедра "Телебачення та радіомовлення", Міністерства транспорту та зв'язку України, м. Одеса.

Захист відбудеться "19" 10 2006 р. о "14⁰⁰" 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 у бібліотеці **Українській державній академії залізничного транспорту** за адресою:

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

Автореферат розісланий "21" 08 2006 р.

*Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради*

М.В. Книгавко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інформаційні і телекомунікаційні системи (ТС) відповідно до Концепції розвитку Єдиної Національної системи зв'язку України, Національних космічних програм є одними із складових процесів рішення задач загальносвітового і національного значення. Основна функція ТС полягає в забезпеченні державних структур, міністерств, відомств і підприємств, всіх форм власності, а також населення можливістю отримання, обробки та передачі різних видів достовірної інформації в задані часові терміни. В теж час технічні можливості існуючих ТС не забезпечують потрібного часу обробки і передачі необхідних об'ємів достовірної відеоінформації. В першу чергу це обумовлено тим, що темпи зростання об'ємів відеоданих на кілька порядків перевищують ступінь підвищення швидкості доведення інформації в ТС. Тому рішення даного протиріччя полягає в компактному представленні відеоданих без внесення погрешностей.

Великий внесок у розвиток методів стиску внесли вітчизняні вчені. Серед них Акушський І.Я., Александров В.В., Амелкін В.О., Бабкин В.Ф., Борисенко О.А., Вітгіх В.А., Горський М.Д., Єрмеєв І.С., Заблоцький В.М., Зубарев Ю.М., Корольов А.В., Котельніков В.А., Красильников М.М., Кричевський Р.Е., Мановцев А.П., Онищенко Ю.А., Орищенко В.І., Поляков П.Ф., Рябко Б.Я., 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., Хартлі Р.Л., Хаффман Д.А., Хеммінг Р.В. та ін.

Проведений аналіз відомих методів компактного представлення показав, що: найбільші ступені стиску досягаються для методів, які скорочують психовізуальну надмірність. Однак, такий підхід характеризується безповоротними втратами інформації. Ступені стиску реалістичних зображень без внесення погрешності досягають в середньому 2 - 3 раз. В цьому випадку час передачі стиснених відеоданих по ТС досягає кількох десятків хвилин. Таким чином, існуючі теоретичні основи зниження надмірності зображень не забезпечують потрібного ступеня стиску без внесення погрешностей.

Аналіз недоліків існуючих підходів до скорочення різних видів надмірності виявив, що для підвищення ступеня компактного представлення без внесення погрешностей необхідно розробляти нові методи стиску на основі одночасного виявлення поліадичних та біноміальних закономірностей в двовимірному та тривимірному просторах відеоданих.

Таким чином, для зменшення часу обробки і передачі відеоінформації на основі компактного представлення необхідно вирішити актуальну науково-

прикладну **проблему**, яка складається з *розробки наукових основ забезпечуючих збільшення ступеня стиску зображень з різною насиченістю дрібними деталями без внесення погрішностей*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках Національної програми інформатизації України, Концепції розвитку Єдиної Національної системи зв'язку України на 2000 – 2010 рр., Національних космічних програм України (1997 – 2002, 2003 – 2007 рр.) та планами НДР МОУ, ХВУ, ХУПС. Основні результати дисертаційної роботи використовувалися у 14 звітах з НДР, у 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; № 3871; № 3899), "Методи обробки інформації" (№ 3865), "Розподілення потоків в системах телекомунікацій" (шифр "Нива", № 3867), "Розробка методів та засобів автоматизації доступу до даних дистанційного зондування Землі" (№ 3885), "Методи та способи скорочення часу обробки" (№ 3893), "Обробка інформації в розподілених системах" (№ 3896), в 5 з яких автор був відповідальним виконавцем.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є створення єдиної методології і методів стиску для підвищення ступеня стиску зображень з різною насиченістю дрібними деталями без внесення погрішностей та для зменшення часу обробки і передачі даних в телекомунікаційних системах на основі біноміально-поліадичного представлення. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити теорію біноміально-поліадичного представлення відеоданих з довільною потужністю алфавіту без внесення погрішності, що включає до себе:

- теоретичні основи біноміально-поліадичного кодування і декодування відеоданих. Дослідження характеристик біноміально-поліадичного представлення щодо ступеня стиску і часу на обробку;
- математичний апарат швидкого біноміально-поліадичного представлення відеоданих;
- математичний апарат усіченого зв'язного біноміально-поліадичного представлення зображень.

2. Розробити і дослідити теоретичні основи тривимірного біноміально-поліадичного представлення відеоданих, що містять:

- метод тривимірного біноміально-поліадичного кодування, який забезпечує стиск за рахунок усунення двохознакової комбінаторної надмірності одночасно за трьома координатами без внесення погрішності;

- метод тривимірного біноміально-поліадичного відновлення зображень.

3. Провести порівняльну оцінку розроблених методів з відомими методами за ступенем стиску і за часом обробки зображень.

4. Розробити програмно-апаратні реалізації розроблених методів стиску та відновлення зображень і здійснити їх впровадження в підсистемах обробки і передачі даних телекомунікаційних систем.

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

Предмет дослідження. Підсистема стиску зображень в телекомунікаційних системах на основі біноміально-поліадичного кодування.

Методи дослідження. Дослідження ролі підсистем стиску відеоданих в системах телекомунікації ґрунтувалося на методах теорії складних систем. Дослідження біноміально-поліадичних закономірностей відеоданих проводилося на базі методів структурного, комбінаторного аналізу зображень і теорії множин. Для виводу виразу, який визначає кількість інформації і кількість двохознакової комбінаторної надмірності, використовувалися методи теорії ймовірності, математичної статистики, теорії інформації і комбінаторики. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів проводилася на основі методів математичної статистики і методів теорії передачі і сприйняття зображень.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена рішенням проблеми *розробки наукових основ забезпечуючих збільшення ступеня стиску зображень з різною насиченістю дрібними деталями без внесення погрішностей*. Вперше одержано наступні наукові результати:

1. Розроблено теоретичні основи біноміально-поліадичного представлення відеоданих з довільною потужністю алфавіту, які містять:

1.1. Двовимірне біноміально-поліадичне кодування і декодування, яке відрізняється від відомих методів тим, що:

- кодування проводиться на основі аналітичного виразу, що дозволяє сформувати код-номер масиву відеоданих. При цьому масив даних представляється у вигляді комбінаторної матриці, в якій рядками є перестановки з повтореннями з обмеженим динамічним діапазоном, а стовпцями – поєднання з повтореннями;

- компактне представлення здійснюється на основі усунення двохознакової комбінаторної надмірності, викликані одночасним врахуванням обмежень на динамічний діапазон елементів масиву відеоданих та на значення їх накопиченої суми.

1.2. Швидке біноміально-поліадичне кодування і декодування, яке дозволяє знизити кількість операцій на обробку відеоданих без внесення погрішності та без зниження ступеня стиску. Розроблене швидке кодування у відмінності від біноміально-поліадичного кодування засноване на:

- доведеному аналітичному виразі для комбінаторної згортки поєднань з повтореннями з довільними специфікаціями по фіксованому діапазону окремої специфікації;

- на доведених властивостях симетричності, монотонності, одноперехідності і розделимості вагових та біноміально-поліадичних коефіцієнтів.

1.3. Усічене зв'язне біноміально-поліадичне представлення відеоданих, яке на відміну від інших представлень засноване на нумерації не окремих біноміально-поліадичних чисел, а на нумерації пар біноміально-поліадичних чисел, відмінних один від одного значенням одного елементу. Дане кодування забезпечує додаткове скорочення комбінаторної надмірності, яка обумовлена виключенням з процесу нумерації тих біноміально-поліадичних чисел, які не є залежними один від одного за значеннями сум їх елементів (відрізняються один від одного як мінімум двома елементами).

2. Розроблено і досліджено метод тривимірного біноміально-поліадичного кодування відеоданих, що забезпечує стиск відеоданих на основі усунення триознакової комбінаторної надмірності в тривимірному просторі. Це приводить до додаткового підвищення ступеня стиску без внесення погіршеності. Основні відмінні особливості розробленого методу полягають у:

2.1. Використанні отриманого виразу для підрахунку кількості тривимірних структур відеоданих, що представляють собою у напрямі горизонтальних перетинів по рядках - перестановки з повтореннями з обмеженим усіченим динамічним діапазоном, по стовпцях – поєднання з повтореннями, а у напрямі вертикальних перетинів - двовимірні поєднання з повтореннями з усіченими обмеженнями на специфікації.

2.2. Плаваючому режимі кодування, який дозволяє сформувати код-номер для біноміально-поліадичного числа довільної довжини, починаючи з молодших елементів.

2.3. Розмітці тривимірних структур відеоданих, яка забезпечує розподіл елементів, що розташовані в різних її частинах по біноміально-поліадичних числах, для яких формується код-номер.

3. Розроблено та досліджено метод тривимірного біноміально-поліадичного відновлення зображень. На відміну від інших методів він заснований на отриманні вихідних елементів зображень за значенням їх суми, за обмеженнями на їх динамічний діапазон і за значенням відповідного номера в зв'язному усіченому біноміально-поліадичному просторі.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю аналогів у положеннях теорії та практики систем кодування, обробки і передачі даних, а також публікаціями та апробаціями на конференціях.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Рішення поставленої наукової проблеми дозволяє знизити

часові витрати на обробку та передачу відеоданих по каналах зв'язку без внесення погрішності. В роботі проведено аналіз існуючих методів стиску, на основі якого зроблено висновок щодо необхідності розробки теорії і методів компактного представлення зображень на основі біноміально-поліадичного кодування. Вибраний критерій ефективності функціонування підсистеми компактного представлення відеоінформації дозволяє в достатній мірі оцінити одержані результати. Розроблена теорія і одержані на її основі методи здійснюють стиск зображень за рахунок усунення двохознакової комбінаторної надмірності в двовимірному і тривимірному просторах. Це підкріплюється кількісними оцінками, які одержані на основі виведених комбінаторних виразів для визначення мінімального значення коефіцієнта стиску. При цьому одержана теорія біноміально-поліадичного представлення не суперечить існуючій статистичній теорії зв'язку і кодування, а також не суперечить теоретичним положенням біноміального і поліадичного представлень. Розроблені біноміально-поліадичні методи компактного представлення і відновлення відеоданих реалізовані програмно, що дозволяє оцінити їх ефективність по коефіцієнту стиску та часу обробки.

Практичне значення отриманих результатів дослідження полягає у тому, що на підставі одержаних теоретичних положень біноміально-поліадичного представлення розроблені:

1. Методи стиску та відновлення зображень без внесення погрішності на основі скорочення двохознакової комбінаторної надмірності в двовимірному і тривимірному просторах, доведені до програмно – апаратних реалізацій, дозволяють додатково, щодо відомих методів обробки без внесення погрішності, забезпечити збільшення стиску в середньому від **1,7** до **5** разів для сильно- і середньонасичених реалістичних зображень та в середньому в **3** рази - для слабонасичених зображень;

2. Швидке біноміально-поліадичне кодування і декодування в двовимірному і тривимірному просторах, які представлені у вигляді способів і алгоритмів та доведені до програмно – апаратних реалізацій, знижують час на обробку щодо звичайного біноміально-поліадичного представлення до **90%**.

3. Швидке усичене двозв'язне представлення, доведене до програмно – апаратних реалізацій дозволяє додатково скоротити час на обробку до **4** разів і додатково підвищити ступінь стиску до **2,5** разів.

4. Запропоновані методи в порівнянні з відомими методами зменшують сумарний час обробки і передачі відеоданих для швидкості передачі даних $U_{\text{п}} = 1,5 \times 10^6$ (біт/с) і середньої швидкості виконання машинних операцій $U_{\text{обр}} = 3 \times 10^8$ (м.о./с) в середньому для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень відповідно від **1,8** до **3**; від **1,75** до **3,5** і до **4** разів.

Результати дисертації використовувалися при виконанні експериментально-конструкторських робіт в ДП ПКТБ "Укртрансв'язок"

(акт реалізації від 20.04.2003 р.), на НТ СКБ "ПОЛІСВІТ" (акт реалізації від 04.11.2003 р.), в центрі прийому наукової інформації НКАУ (акт реалізації від 29.01.2004 р.), в центрі управління польотами космічних апаратів (акт реалізації від 17.02.2004 р.), на ФГУП "НПО ім С.А. Лавочкина" (акт реалізації від 02.04.2004 р.), в ИПЕ НАНУ (акт реалізації від 7.04.2004 р.), а також в навчальному процесі ХУПС (акт реалізації від 7.10.2005 р.). Отримані також висновки про впровадження результатів наукових досліджень, що представлені в звітах з науково-дослідної роботи наступних організацій: НТ СКБ "Полісвіт": вх. №373 від 18.12.02; вх. №65 від 25.02.03; вх. № 478 від 25.11.03; вх. № 479 від 25.11.03; ХНАУ: вх. № 28 від 28.01.03; вх. № 93 від 25.02.04; вх. № 181 від 27.04.04.

Особистий внесок автора дисертаційної роботи в публікаціях, які виконані в співавторстві, полягає в наступному: у статтях [1], [13] – отримані аналітичні вирази для оцінки значення коду-номера поліадичного числа для випадку обробки масивів значень структурних ознак зображень; у статтях [2], [4], [6] – обґрунтовано можливість послідовного скорочення структурної і комбінаторної надмірності для підвищення ступеня стиску відеоданих; у статті [3] – проведено дослідження перешкодостійких властивостей кодових комбінацій, які отримані на основі поліадичного представлення значень довжин одноколірних областей; [5] – розроблено модель оцінки інформативності виключення одноознакової комбінаторної надмірності в масивах значень довжин одноколірних областей; у статтях [7], [9], [16], [17] – розроблені методи одержання вихідних відеоданих на основі поліадичного відновлення масивів значень структурних і колірних ознак зображень; у статті [18] – отримано часові оцінки відновлення зображень шляхом одержання масивів колірних координат у результаті поліадичного декодування; у статтях [8], [10], [11], [14] – запропоновані методи компактного представлення зображень з нульовою погрішністю на основі усунення одноознакової комбінаторної і структурної надмірності; у статті [15] – отримано статистичний закон розподілу значень величин обмежень на динамічний діапазон структурних і колірних ознак зображень; у статті [12] – проведено дослідження інформативності біноміального представлення двійкових даних.

Апробація результатів дисертації. Результати практичних і теоретичних досліджень, які викладено в дисертаційній роботі, доповідались та обговорювались на 12 міжнародних, 10 конференціях Міністерства оборони України, науково – технічних конференціях і семінарах, а також на семінарах "Синтез, обробка і відображення інформаційних моделей" наукової ради НАНУ за проблемами "Теоретична електротехніка і електронне моделювання" (2001 – 2004 р.), яка включає:

14 – 16 міжнародні школи - семінари "Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті" (г. Алушта, 2001 - 2003); науково – технічні семінари "Синтез, обробка і відображення інформаційних моделей" Наукової Ради НАНУ по проблеме "Теоретична

електротехніка і електронне моделювання” (2001 – 2004 р.р.); I – III Міжнародних НТК “Проблемы информатики и моделирования” (Харьков, 2001 – 2003 р.р.); XI - XII міжнародних НТК “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (Харків: НТУ “ХПІ”, 2003, 2004), міжнародна науково - практична конференція “Современные технологии в менеджменте” (Харків, Алушта, 2003), міжнародна науково-практична конференція “Соціально-економічні та екологічні проблеми використання і охорони земель в умовах реформування земельних відносин” (Харків: ХНАУ, 2003), I науково-технічної конференції “Проблеми розробки і удосконалення засобів телекомунікації систем управління в ЗСУ” (К.: МОУ, ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2003), науково-технічна конференція “Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування інформаційних систем космічного і наземного базування” (Житомир, 2004), науково-технічна конференція “Актуальні проблеми створення і застосування авіаційних та космічних систем” (К.: НАОУ, 2003), II наукова конференція молодих вчених ХВУ (Харків, 2003), підсумкова наукова конференція (Харків: ХНАУ, 2003).

Публікації. За темою дисертації автором самостійно та у співавторстві опубліковано **85** наукових праць, які включають **55** наукових статей, **16** тез доповідей, **14** звітів про НДР. При цьому основні положення докторської дисертації опубліковано в **41** статті, з яких **23** написано автором самостійно, а також у **10** 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, шести розділів, списку використаної літератури і 9 додатків. Загальний обсяг дисертації складається із 411 сторінок, з них 42 ілюстрації на 27 сторінках, 21 таблиця на 10 сторінках, перелік використаних скорочень на 1 сторінці, списку використаної літератури з 262 джерел на 21 сторінці і додатків на 76 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ доведено актуальність розглянутої роботи, сформульовано проблему, мету та завдання дисертації, представлені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ обґрунтовано наявність існуючого *протиріччя* між необхідними об'ємами інформаційних потоків, які вимагається обробляти і передавати без внесення погіршень в реальному часі і обмеженими технічними можливостями телекомунікаційних систем. Показано, що для вирішення даного протиріччя необхідно здійснювати компактне представлення відеоданих. Обґрунтовується вибір показників якості і формулюється критерій ефективності функціонування підсистем обробки і

передачі відеоданих (ПОПВ). На основі проведеного аналізу існуючих напрямів усунення надмірності зображень обґрунтовується напрям для розробки нових методів стиску.

Основним кількісним показником функціонування ПОПВ є об'єм W інформаційного потоку, що обробляється і передається в одиницю часу. Тоді, з урахуванням того, що задана вимога до величини мінімального об'єму відеоданих $W_{\text{ТР}}$ критерієм ефективності функціонування ПОПВ є величина, рівна сумарному часу t , який витрачається на обробку і передачу даних:

$$t = \beta_k / U_{\text{обр}} + W / U_{\text{п}} k_{\text{сж}} + \beta_d / U_{\text{обр}} + 2T_{\text{обм}} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$W \geq W_{\text{ТР}}; \quad \sigma = 0; \quad U_{\text{п}} \leq U_{\text{зад,п}}; \quad U_{\text{обр}} \leq U_{\text{зад,обр}}; \quad W_{\text{взу}} \leq W_{\text{зад,взу}}, \quad (2)$$

де, $k_{\text{сж}}$ - коефіцієнт стиску відеоданих, σ - значення показника середньоквадратичної погрішності; $U_{\text{п}}$, $W_{\text{взу}}$, $U_{\text{обр}}$ і $U_{\text{зад,обр}}$, $U_{\text{зад,п}}$, $W_{\text{зад,взу}}$ - реальні і задані для конкретної ПОПВ швидкості передачі даних по каналах зв'язку, об'єм зовнішнього запам'ятовуючого пристрою (ЗЗУ) і середня швидкодія виконання машинних операцій; β_k , β_d - відповідно кількість операцій необхідна для стиску і відновлення цифрового об'єму W ; $T_{\text{обм}}$ - сумарний час, що витрачається на обмін інформацією між оперативною пам'яттю та ЗЗУ, який потрібно затратити на обробку необхідного об'єму даних W .

Проведений аналіз відомих методів стиску виявив, що найбільші ступені стиснення зображень забезпечуються у разі скорочення психовізуальної надмірності. Однак, в цьому випадку відбуваються безповоротні втрати інформації. Це обмежує можливість використання даних методів. Обробка без внесення погрішностей забезпечується методами стиску, які не скорочують психовізуальну надмірність. В теж час ступінь стиску реалістичних зображень на основі таких методів досягає в середньому **2 - 3 рази**. Відповідно час на обробку та передачу по ТС стислих відеоданих досягає **десятиків хвилин**. Отже, методи стиску, побудовані на основі відомих теоретичних підходів усунення надмірності, не забезпечують рішення існуючого інформаційно-технічного протиріччя. Це обумовлено тим, що не враховуються властивості анізотропії, слобокореліруєміості і багатомодальності законів розподілу елементів відеоданих, які характерні для зображень з різною насиченістю дрібними деталями.

Таким чином, розробка наукових основ для збільшення ступеня стиску зображень з різною насиченістю дрібними деталями без внесення

погрішностей, що забезпечує зниження часу обробки і передачі відеоданих є **актуальною науково-прикладною проблемою**.

Аналіз різних видів ознак зображень показав, що найстійкішими до нестационарності фрагментів зображень є комбінаторні ознаки, що характеризують закономірності динамічних діапазонів відеоданих. Для обліку закономірностей динамічних діапазонів, пропонується вибрати наступні ознаки: максимальні значення в рядках і суму елементів по стовпцях в масиві відеоданих. Компактне представлення даних з врахуванням закономірностей по вибраних ознаках проводиться відповідно на основі поліадичного і біноміального кодування. Однак, існує суперечність. З одного боку поліадичне кодування володіє можливістю швидкої обробки, але різко знижується ступінь стиску із зростанням динамічного діапазону. З другого боку біноміальне кодування забезпечує збільшення ступеня стиску із зростанням динамічного діапазону, але на обробку витрачається порядку кількох десятків хвилин. Тому для підвищення ступеня стиску і зниження часу на обробку та передачу відеоданих по каналах зв'язку потрібно розробити теоретичні основи і методи стиску зображень на основі біноміально-поліадичного представлення. В даному випадку надмірність скорочується на основі виявлення закономірностей **одночасно** за двома ознаками комбінаторної природи в двовимірному та тривимірному просторах.

У **ДРУГОМУ РОЗДІЛІ** розробляються теоретичні основи біноміально-поліадичного (БП) представлення відеоданих з довільною потужністю алфавіту, що включає: отримання аналітичного виразу для визначення об'єму допустимої множини, отримання системи правил для кодування і для декодування. Доводиться взаємодозначність БП представлення відеоданих, що дозволяє відновлювати зображення без внесення погрішності.

Розробка теоретичних основ БП представлення на першому етапі включає визначення об'єму $V(\mathbf{w}, \Lambda)_m$ допустимої множини БП чисел, які задовольняють обмеженням:

$$0 \leq a_{ij} \leq \lambda_i - 1, \quad j = \overline{1, n}; \quad \Lambda = \{\lambda_i\}_{i=\overline{1, m}}; \quad \sum_{i=1}^m a_{ij} = w, \quad (3)$$

де \mathbf{m} , \mathbf{n} - відповідно кількість рядків і стовпців в масиві відеоданих; a_{ij} - ij -е значення масиву відеоданих; Λ - вектор обмежень на діапазон елементів зображень; λ_i - основа i -го елемента поліадичного числа.

Для отримання цього виразу пропонується розробити структурно-математичний апарат БП прямокутника. Побудова БП прямокутника організовується на основі множини поліадичних чисел. При цьому \mathbf{m} -мірним

біноміально-поліадичним прямокутником називається прямокутник, утворений m основами поліадичного числа, елементами якого є значення сум w елементів поліадичних чисел. Отримання виразу для визначення величини $V(w, \Lambda)_m$ зводиться до доказу того, що кількість різних послідовностей, які задовольняють обмеженням (3) формується на основі множини біноміальних чисел, на елементи яких не накладаються обмеження на динамічний діапазон

$$V(w, \Lambda)_m = \binom{m+w-1}{m-1} + \sum_{\mu=1}^m (-1)^\mu \sum_{u_1=1}^{m-\mu+1} \sum_{u_2=u_1+1}^{m-\mu+2} \sum_{u_3=u_2+1}^{m-\mu+3} \dots \sum_{u_\mu=u_{\mu-1}+1}^{\mu} \left(\binom{(m-1) + (w - \lambda_{u_1} - \lambda_{u_2} - \lambda_{u_3} - \dots - \lambda_{u_\mu})}{m-1} \right), \quad (4)$$

де μ - кількість вкладених сум, $1 \leq \mu \leq m$; γ - кількість величин λ_i в кожному доданку, $1 \leq \gamma \leq \mu$; $\binom{m-1 + (w-g)}{m-1}$ - число $(w-g)$ -поєднання з повтореннями з m елементів; g - параметр, значення якого залежить від величин μ і γ .

Величину $V(w, \Lambda)_m$ рівну кількості w -поєднання з повтореннями з m елементів, на динамічний діапазон яких накладені додаткові обмеження, назовемо **біноміально-поліадичним коефіцієнтом**.

Біноміально-поліадичне кодування полягає у визначенні номера конкретної послідовності відеоданих в пронумерованій БП множині. У загальному випадку послідовність може мати вид масиву відеоданих. Тоді нумерації підлягає комбінаторна матриця, рядками якої є перестановки з повтореннями і з додатковим обмеженням на динамічний діапазон, а стовпцями – поєднання з повтореннями. Для здійснення такої нумерації формулюється і доводиться теорема.

Теорема про нумерацію біноміально-поліадичних чисел. Для $\Lambda = \{a_{ij}\}$ такої, що виконуються умови (3) можна сформуувати код-номер $N(w, \Lambda)_m$:

$$N(w, \Lambda)_m = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{h=0}^{a_{ij}-1} \left(\binom{m-i+s(h)-1}{m-i-1} + \sum_{\mu=1}^m (-1)^\mu \sum_{u_1=i+1}^{m-\mu+1} \sum_{u_2=u_1+1}^{m-\mu+2} \dots \sum_{u_\mu=u_{\mu-1}+1}^{\mu} \left(\binom{(m-i-1) + (s(h) - \lambda_{u_1} - \lambda_{u_2} - \dots - \lambda_{u_\mu})}{m-i-1} \right) \right), \quad (5)$$

де $\sum_{\gamma=1}^{i-1} a_{\gamma j}$ - сума попередніх елементів на i -му кроці кодування; \mathbf{h} - поточне

значення рівня i -го елемента БП числа, $0 \leq \mathbf{h} \leq a_i - 1$; $\mathbf{s}(\mathbf{h})$ - значення суми необроблених елементів з врахуванням \mathbf{h} -го рівня елемента a_{ij} .

Доведення ґрунтується на можливості підрахунку кількості допустимих послідовностей для кожного значення залишкової суми $\mathbf{s}(\mathbf{h})$ як значення об'єму допустимої множини, що міститься в одній лінійки БП прямокутника.

Для відновлення відеоданих розробляється БП декодування. Оскільки значення елементів БП чисел задані у вагових коефіцієнтах в неявному вигляді, то пропонується організувати порівняє відновлення. Для цього формулюється і доводиться теорема.

Теорема про відновлення біноміально-поліадичних чисел. Будь-яке біноміально-поліадичне число із заданими значеннями \mathbf{w} і Λ відновлюється по коду-номеру $N(\mathbf{w}, \Lambda)_m$ за допомогою виразів:

$$\sum_{h=0}^{a_{ij}-1} \left(\sum_{\mu=0}^m (-1)^\mu \sum_{u_1=i+1}^{m-\mu+1} \dots \sum_{u_\mu=u_{\mu-1}+1}^{\mu} \binom{(m-i-1)+(\mathbf{s}(\mathbf{h})-\lambda_{u_1}-\dots-\lambda_{u_\mu})}{m-i-1} \right) \leq N(\mathbf{w}, \Lambda)_i < \sum_{h=0}^{a_{ij}} \left(\sum_{\mu=0}^m (-1)^\mu \sum_{u_1=i+1}^{m-\mu+1} \dots \sum_{u_\mu=u_{\mu-1}+1}^{\mu} \binom{(m-i-1)+(\mathbf{s}(\mathbf{h})-\lambda_{u_1}-\dots-\lambda_{u_\mu})}{m-i-1} \right); \quad (6)$$

для $i=1$ $N(\mathbf{w}, \Lambda)_1 = N(\mathbf{w}, \Lambda)_m$, для $i \geq 2$

$$N(\mathbf{w}, \Lambda)_{i+1} = N(\mathbf{w}, \Lambda)_i - \sum_{h=0}^{a_{ij}-1} \left(\binom{m-i+\mathbf{s}(\mathbf{h})-1}{m-i-1} - \sum_{\mu=1}^m (-1)^\mu \sum_{u_1=i+1}^{m-\mu+1} \dots \sum_{u_\mu=u_{\mu-1}+1}^{\mu} \binom{(m-i-1)+(\mathbf{s}(\mathbf{h})-\lambda_{u_1}-\lambda_{u_2}-\dots-\lambda_{u_\mu})}{m-i-1} \right). \quad (7)$$

Доведення теореми ґрунтується на властивостях біноміально-поліадичних прямокутників, які полягають у тому, що будь-які БП множини, одержані для перетинів БП прямокутника з різним ступенем мірності є взаємозалежними. Наслідком доведеної теореми є те, що відновлення відеоданих здійснюється без погрішності.

Порівняльна оцінка різних методів кодування показує, що: ступінь стиску фрагментів зображення для БП кодування залежно від ступеня

насиченості приймає в середньому значення від **3** до **7** разів, що забезпечує середній вигравш щодо біноміального кодування в **2** рази, щодо поліадичного кодування в **3** рази, а щодо методів статистичного кодування досягає **70%**. Оцінка часових витрат на БП кодування і декодування виявила, що така обробка в реальному часі на обчислювальних засобах, що не використовують рівнобіжних процесів обробки, ускладнена.

Для зниження часу обробки необхідно розробити швидке біноміально-поліадичне представлення відеоданих.

ТРЕТІЙ РОЗДІЛ присвячено розробці швидкого біноміально-поліадичного кодування і декодування та оцінки часових витрат на швидку обробку відеоданих.

З аналізу виразів **5 – 7** випливає, що основна кількість операцій при БП обробці витрачається на: обчислення вагових коефіцієнтів елементів біноміально-поліадичного числа шляхом повного перебору по їх динамічному діапазону і на знаходження доданків, необхідних для визначення величини вагового коефіцієнта відповідного **h**-му значенню **i**-го елемента БП числа.

Для вирішення *першого напрямку* формулюється і доводиться теорема.

Теорема про швидку біноміально-поліадичну нумерацію. Формування коду-номера $N(w, \Lambda)_m$ для біноміально-поліадичного числа $A = \{a_{ij}\}$ можна проводити за схемою, в якій ваговий коефіцієнт кожного **i**-го елемента знаходиться як кількість допустимих послідовностей у $(m-i+1)$ -мірному біноміально-поліадичному прямокутнику:

$$N(w, \Lambda)_m = \sum_{i=1}^{m-1} V(w_i, \lambda_1^{(i)} = a_i, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}; \quad (8)$$

$$V(w_i, \lambda_1^{(i)} = a_i, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1} = \left(\binom{m-i-1+w_i}{m-i-1} - \sum_{\mu=1}^m (-1)^\mu \sum_{u_1=i}^{m-\mu+1} \sum_{u_2=u_1+1}^{m-\mu+2} \dots \sum_{u_\mu=u_{\mu-1}+1}^{\mu} \left(\binom{(m-i-1)+(w_i - \lambda_{u_1}^{(i)} - \lambda_{u_2}^{(i)} - \dots - \lambda_{u_\mu}^{(i)})}{m-i-1} \right) \right), \quad (9)$$

де $\Lambda^{(i)} = \{\lambda_1^{(i)}, \dots, \lambda_u^{(i)}, \dots, \lambda_{m-i+1}^{(i)}\}$ - вектор обмежень $\lambda_u^{(i)}$ на діапазони елементів БП числа на **i**-му кроці нумерації, $1 \leq i \leq m-1$; w_i - сума $(m-i+1)$ -х необроблених елементів БП числа.

Перерахунок параметрів w_i та $\Lambda^{(i)}$ задається таким чином:

$$\lambda_1^{(i)} = a_i, \lambda_u^{(i)} = \lambda_{i+u-1}, u = \overline{2, m-i+1}, w_i = w - \sum_{\gamma=1}^{i-1} a_\gamma, \quad (10)$$

де a_γ - значення γ -го елемента БП числа; γ - індекс оброблених до i -го кроку елементів БП числа, $1 \leq \gamma \leq i-1$.

Доведення теореми базується на можливості заміни нумерації за повним перебором всіх рівнів діапазону кожного елемента на вираз, що дозволяє обчислювати ваговий коефіцієнт безпосередньо по значенню елемента БП числа. Величина в правій частині виразу (9) називається *ваговим* БП коефіцієнтом.

Одержане швидке кодування для значень елементів, які перевищують довжину оброблюваної послідовності, дозволяє щодо звичайного БП кодування скоротити кількість операцій від **10** до **100** разів.

Другий напрям підвищення швидкодії кодування засновано на зменшенні кількості доданків у складі вагових коефіцієнтів за рахунок використання властивості симетричності. Дана властивість полягає у виконанні співвідношення

$$V(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} = V(w_{\max} - w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1}, \quad (11)$$

де $V(w_{\max} - w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1}$ - БП коефіцієнт, симетричний початковому щодо середнього значення суми w_{sr_i} , необроблених елементів на i -му кроці обробки; w_{\max} - максимальне значення суми для необроблених елементів на i -му кроці нумерації.

Доведення співвідношення (11) базується на властивості періодичності біноміально-поліадичного прямокутника. Кількість обчислень, які витрачаються на знаходження біноміально-поліадичних коефіцієнтів, при переході до симетричних обчислень скорочується в середньому від **60%** до **95%**.

На відміну від кодування розробка швидкого відновлення БП чисел ускладнюється тим, що елементи входять до складу вагових коефіцієнтів і їх не можна виділити. У зв'язку з цим, пропонується проводити БП декодування по рекурентній схемі, яка полягає у тому, що початкове значення відновлюваного елемента знаходиться за кінцеву кількість ітерацій v_i шляхом послідовного зменшення площі відповідного перетину БП прямокутника. Вибір такої схеми обумовлений тим, що кількість допустимих чисел, які містяться в сусідніх лінійках у складі кожного перетину БП прямокутника близькі один до одного. Для обґрунтування того, що така

схема дозволить відновлювати елементи відеоданих без внесення погрешності за кінцеву кількість ітерацій, доводиться теорема.

Теорема про швидке біноміально-поліадичне декодування. Для відомих значень w і Λ схему відновлення біноміально-поліадичних чисел за кодом-номером $N(w, \Lambda)_m$ на основі повного перебору можна замінити рекурентною схемою, заданою системою виразів:

$$a_{ij} = \begin{cases} a_{\max} + 1 + \sum_{\xi=1}^{v-1} \Delta a'_{\xi i}, & \text{якщо } N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} > V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}; \\ a_{\max} + 1 - \sum_{\xi=1}^{v-1} \Delta a'_{\xi i}, & \text{якщо } N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} < V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}, \end{cases} \quad (12)$$

$$\Delta a'_{\xi i} = \begin{cases} \left[\frac{N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} - V(w_i, a_{\max} + 1 + \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}}{V(w_i - (a_{\max} + 1 + \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i}), \Lambda^{(i+1)})_{m-i}} \right], \\ \text{якщо } N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} > V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}; \\ \left[\frac{V(w_i, a_{\max} + 1 - \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1} - N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1}}{V(w_i - (a_{\max} + 1 - \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i}), \Lambda^{(i+1)})_{m-i}} \right], \\ \text{якщо } N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} < V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}; \end{cases} \quad (13)$$

$$N(w_{i+1}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i} = \begin{cases} N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} - V(w_i, a_{\max} + 1 + \sum_{\gamma=1}^v \Delta a'_{\gamma i}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}, \\ \text{якщо } N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} > V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}; \\ N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} - V(w_i, a_{\max} - \sum_{\gamma=1}^v \Delta a'_{\gamma i}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}, \\ \text{якщо } N(w_i, \Lambda^{(i)})_{m-i+1} < V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}; \end{cases}$$

$$1 \leq \xi \leq v; \Delta a'_{\gamma i} = 0; i = \overline{1, m}, \quad (14)$$

де a_{ij} - відновлюване значення i -го елемента БП числа;
 $V(w_i, a_{\max} + 1, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}$ - кількість допустимих чисел в БП перетині довжиною $(a_{\max} + 1)$; $V(w_i - (a_{\max} + 1 + \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i}), \Lambda^{(i+1)})_{m-i}$ - кількість допустимих чисел, що знаходиться в $(m - i)$ -мірній повній БП лінійці з початковим індексом, рівним $(a_{\max} + 1 + \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i})$, і з сумою w_i ; $\Delta a'_{\xi i}$ - значення відстані між лінійками з початковими індексами $(a_{\max} + 1 + \sum_{\gamma=1}^{\xi-1} \Delta a'_{\gamma i})$ і $(a_{\max} + 1 - \sum_{\gamma=1}^{\xi} \Delta a'_{\gamma i})$; $\sum_{\gamma=1}^{v-1} \Delta a'_{\gamma i}$ - відстань між a_{\max} і істинним значенням a_{ij} ; a_{\max} - початковий індекс $(m - i)$ -мірній БП лінійки, що містить найбільшу кількість допустимих послідовностей.

Доведення теореми ґрунтується на доведенні можливості обчислення індексу лінійки, що містить максимальну кількість біноміально-поліадичних чисел і на тому, що послідовність, яка складена з числа допустимих послідовностей, починаючи з лінійки з максимальним об'ємом допустимої множини і закінчуючи лінійкою з індексом, рівним значенню відновлюваного елемента, є монотонною.

За рахунок переходу від денумерації за повним діапазоном значень відновлюваних елементів до швидкої денумерації забезпечується виграш за часом відновлення до **90%**.

Таким чином, на основі властивостей біноміально-поліадичного прямокутника розроблено швидке біноміально-поліадичне кодування і декодування.

У ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ розробляється усічене двозв'язне біноміально-поліадичне (УДБП) представлення. Проводиться оцінка часових витрат і ступеня стиску для розробленого представлення.

Необхідність розробки УДБП представлення обґрунтовується тим, що:

- для компактного представлення на основі тривимірної обробки вимагається враховувати особливості тривимірних структур відеоданих за трьома різними ознаками комбінаторної природи;

- знижується ефективність кодування масивів відеоданих, сума елементів яких близька до свого середнього значення.

Для додаткового підвищення ефективності БП обробки необхідно здійснити усічене БП представлення шляхом зрушення значення суми w_j від середнього значення до 0 . Суть усіченого біноміально-поліадичного кодування полягає в підрахунку кількості раз появи зменшеного значення суми в усіченій біноміально-поліадичній множині. У цьому випадку здійснюється зрушення позиції початкового БП числа в БП прямокутнику у бік початкового рівня, а також скорочується кількість двовимірних БП прямокутників, які містять допустиму діагональ.

Додаткове збільшення ступеня стиску за рахунок усіченого БП представлення щодо звичного представлення приймає в середньому значення від **1,5** до **3** разів для $m = 8$ та від **2** до **4** разів для $m = 16$. Однак, це значення знижується при обробці сильнонасичених фрагментів зображень, які містять різкі сплески.

Для усунення цього недоліку пропонується розробити двозв'язне біноміально-поліадичне кодування. Суть такого кодування полягає в нумерації не окремого біноміально-поліадичного числа, а нумерації одночасно двох біноміально-поліадичних чисел, відмінних значенням одного елемента. Для підрахунку кількості $V(W^{(2)}, \Lambda^{(1)})_m$ допустимих двозв'язних чисел, які задовольняють обмеженням:

$$w_\gamma \leq w_j; \quad a_{ij} = \text{const}; \quad i = \overline{1, m}, i \neq \gamma; \quad a_{\gamma j} = \text{var}, \quad (15)$$

сформулюємо і доведемо теорему.

Теорема про кількість допустимих двозв'язних біноміально-поліадичних чисел. Кількість $V(W^{(2)}, \Lambda^{(1)})_m$ допустимих біноміально-поліадичних чисел з урахуванням додаткового зв'язку значення суми w_j з меншою за значенням сумою w_γ , які задовольняють умовам (15), рівна

$$V(W^{(2)}, \Lambda^{(1)})_m = V(w_2, \Lambda^{(1)})_m - V(w_1 - \lambda_\gamma, \Lambda^{(1)})_m + V(w_2 - \lambda_\gamma, \Lambda^{(1)})_m, \quad (16)$$

де $V(w_1 - \lambda_\gamma, \Lambda^{(1)})_m$ - кількість пар $(w_u; w_1)$ послідовностей, передуючих парі $(w_2; w_1)$, тобто $w_u < w_1$, $u = \overline{0, w_1 - \lambda_\gamma}$; $V(w_2 - \lambda_\gamma, \Lambda^{(1)})_m$ - кількість пар послідовностей, передуючих парі $(w_2; w_1)$, але що не містять елемент з сумою w_2 ; $w_{1,i}$ - сума елементів оброблюваного БП числа; $w_{2,i}$ - сума елементів залежного БП числа, яка рівна $w_{2,i} = w_j - a_{\gamma j}$.

Доведення теореми базується на можливості підрахунку кількості раз появи заданої суми в біноміально-поліадичному прямокутнику шляхом підрахунку кількості непересічних парних сум.

Для формування коду-номера двозв'язному БП числу формулюється і доводиться теорема.

Теорема про нумерацію двозв'язних біноміально-поліадичних чисел.

Для пари біноміально-поліадичних чисел, що складаються з m елементів і зв'язаних сумами $\{w_\gamma, w_j\}$, які задовольняють умовам (15), можна сформулювати код-номер $N(W^{(2)}, \Lambda^{(1)})_m$ за формулами

$$N(W^{(2)}, \Lambda^{(1)})_m = \sum_{i=1}^{m-1} V(W_i^{(2)}, a_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1} = \sum_{i=1}^{m-1} (V(w_{2,i}, a_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1} - V(w_{1,i} - \lambda_\gamma, a_{ij}, \Lambda^{(1)})_{m-i+1} + V(w_{2,i} - \lambda_\gamma, a_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}), \quad (17)$$

де $V(W_i^{(2)}, a_i, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}$ - кількість допустимих пар $\{w_\gamma, w_j\}$ в a_{ij} -у $(m-i+1)$ -мірному БП перетині; $V(w_{2,i}, a_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}$ - кількість допустимих БП чисел з сумою, рівною w_γ в a_{ij} -у $(m-i+1)$ -мірному БП перетині; $V(w_{1,i} - \lambda_\gamma, a_{ij}, \Lambda^{(1)})_{m-i+1}$ - сумарна кількість рядків (стовпців), що містять суму $0 \leq w_u \leq w_j - 1$ в a_{ij} -у $(m-i+1)$ -мірному БП перетині; $V(w_{2,i} - \lambda_\gamma, a_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}$ - сумарне кількостей рядків (стовпців), що містять суму $0 \leq w_u \leq w_\gamma - 1$ в a_{ij} -у $(m-i+1)$ -мірному БП перетині.

Доведення теореми зводиться до обґрунтування того, що при формуванні коду-номера для двозв'язного БП числа величина вагового коефіцієнта є кількістю допустимих двозв'язних БП чисел для кожного біноміально-поліадичного перетину, яка відповідно до теореми про кількість допустимих двозв'язних БП чисел знаходиться за формулою (16) при виборі обмеження на динамічний діапазон i -го елемента самого значення цього елемента.

Додаткове збільшення ступеня стиску за рахунок двозв'язного БП представлення щодо звичайного біноміально-поліадичного представлення досягає в середньому від **2,2** до **3,5** разів для $m = 8$ та від **4,1** до **7,7** разів для $m = 16$. При цьому ступінь стиску сильнонасичених фрагментів зображень для двозв'язного кодування перевищує в середньому в **1,7** рази ступінь стиску на основі усиченого кодування.

Основним недоліком двозв'язного БП кодування є необхідність додаткової кількості розрядів на представлення інформації про залежну суму w_γ . Для зменшення впливу цього недоліку на ефективність двозв'язного БП кодування пропонується розробити усічене двозв'язне біноміально-поліадичне (УДБП) кодування. В цьому випадку пропонується утворювати пару БП чисел за значеннями сум $w'_{\gamma-1}$ і w'_γ , які знаходяться як різниця між значенням початкової суми w_j і відповідною кількістю мінімальних елементів $a_{\min i}$, $i = \overline{1, m}$. Тоді відповідно до виразу (17) значення кодуномера $N(\{w'_{\gamma-1}, w'_\gamma\}, \Lambda^{(1)})_m$ знаходиться за формулою

$$N(\{w'_{\gamma-1}, w'_\gamma\}, \Lambda^{(1)})_m = \sum_{i=1}^{m-1} V(\{w'_{\gamma-1}, w'_\gamma\}, a'_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1} = \sum_{i=1}^{m-1} (V(w'_{2,i}, a'_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1} - V(w'_{1,i} - \lambda'_\gamma, a'_{ij}, \Lambda^{(1)})_{m-i+1} + V(w'_{2,i} - \lambda'_\gamma, a'_{ij}, \Lambda^{(i+1)})_{m-i+1}). \quad (18)$$

Додаткове збільшення ступеня стиску за рахунок усіченого двозв'язного БП представлення щодо біноміально-поліадичного представлення приймає в середньому значення від **4,3** до **5,7** разів для $m = 8$ та від **6,88** до **9,12** разів для $m = 16$ і в середньому до **2** разів щодо усіченого і двозв'язного представлень, вираш за часом кодування, знаходиться в інтервалі від **3** до **4,2** разів залежно від ступеня насиченості зображень.

Відмінною особливістю відновлення усічених двозв'язних біноміально-поліадичних чисел є те, що вимагається розглядати базисні множини, складені одночасно для двох біноміально-поліадичних чисел. Однак, з аналізу виразів (16) і (18) витікає, що ваговий коефіцієнт двозв'язної множини знаходиться як лінійна комбінація вагових коефіцієнтів однозв'язних множин з різними значеннями сум. Тоді УДБП декодування проводиться за аналогією з виразами (12) – (14). При цьому час відновлення початкових послідовностей на основі швидкого УДБП декодування менше в середньому до **3** разів часу відновлення на основі швидкого БП декодування.

Таким чином, усічене двозв'язне біноміально-поліадичне представлення спільно із звичайним біноміально-поліадичним представленням створює умови для розробки методу компактного представлення відеоданих на основі тривимірної обробки.

У П'ЯТОМУ РОЗДІЛІ розробляється метод тривимірного біноміально-поліадичного кодування зображень. Для одержаного методу проводиться оцінка ступеня стиску і кількості операцій на обробку.

Основною властивістю БП кодування є те, що воно здійснює компактне представлення відеоданих в реальному часі без внесення погрішності на основі одночасного, адаптивного виявлення комбінаторних закономірностей

за двома координатами оброблюваних фрагментів зображень. Однак, таке кодування дозволяє стискати тільки двовимірні масиви, тому для здійснення тривимірної обробки вимагається розробити тривимірну біноміально-поліадичну нумерацію.

Теорема про нумерацію тривимірних біноміально-поліадичних чисел.

Для будь-якого тривимірного біноміально-поліадичного числа (ТБПЧ), цілочисельні елементи якого задовольняють обмеженням

$$w = \sum_{z=1}^q \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ijz}; \quad a_{ijz} \leq \lambda_{iz} - 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad z = \overline{1, q}, \quad (19)$$

за відомими m , n , q та w можна сформуувати код-номер $N(w, \Lambda)_{mnq}$:

$$N(w, \Lambda)_{mnq} = \sum_{z=1}^q \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m V(w_{ijz}, a_{m_i, n_j, q_z}, \Lambda^{(h_{ijz}-1)})_{m_i, n_j, q_z}, \quad (20)$$

де $V(w_{ijz}, a_{m_i, n_j, q_z}, \Lambda^{(h_{ijz}-1)})_{h_{ijz}}$ - ваговий коефіцієнт для a_{m_i, n_j, q_z} -го елемента ТБПЧ з координатами m_i , n_j , q_z ; h_{ijz} - сумарна кількість необроблених елементів на ijz -му кроці; w_{ijz} - сума h_{ijz} елементів ТБПЧ; $\Lambda^{(h_{ijz}-1)}$ - вектор компонент $\lambda_{\gamma, \zeta}^{(m_i, n_j, q_z)}$ - обмежень на динамічний діапазон елементів $\{a_{\gamma, \chi, \zeta}\}_{\chi=1, n}$ на ijz -му кроці обробки; q - кількість горизонтальних перетинів в ТСВ.

Однак, така нумерація має наступні недоліки:

1. Для обчислення коду-номера необхідно наперед знати розміри тривимірного БП числа і суму значень його елементів. Це може привести до переповнення машинного слова і до зниження кількості надмірності, яка скорочується.

2. Вибрані комбінаторні ознаки слабо враховують нестационарність характеристик за вертикальними перетинами ТСВ.

Звідси витікає, що метод компактного представлення тривимірних структур відеоданих повинен містити наступні етапи:

Етап 1. Визначення ознакового простору. Пропонується варіант простору, заснований у відмінності від інших на:

- додатковому використанні властивості зв'язності біноміально-поліадичних чисел за вертикальним напрямом ТСВ. Оскільки зв'язне біноміально-поліадичне кодування більш стійке до нестационарності оброблюваних даних, ніж усічене;

• усіканні динамічного діапазону елементів ТСВ тільки за напрямом рядків горизонтальних перетинів, що знижує кількість розрядів на представлення службової інформації.

Етап 2. Вибір напрямку обробки. *Пропонується вибрати напрям, який починається з молодших елементів.* Це дозволить формувати коди-номера для довільної кількості елементів ТСВ з наперед невідомою сумою. Тоді кодування буде проводитися послідовно по рядках, потім по стовпцях і після завершення обробки горизонтального перетин здійснюється перехід на черговий рівень ТСВ по вертикалі.

Етап 3. Розробка плаваючого режиму кодування, що забезпечує формування коду-номера для довільної кількості елементів відеоданих розташованих в різних частинах ТСВ. Для організації такої обробки розробляється суцільна індексація в межах кожного біноміально-поліадичного числа, яка задається виразами:

$$b_{\ell\xi} = a_{ijz}, \quad 1 \leq \ell\xi \leq \eta\xi; \quad \ell\xi = i + m \times (j - 1) + m \times n \times (z - 1) - \sum_{u=1}^{\xi-1} \eta_u,$$

де $\ell\xi$ і $\eta\xi$ - поточна і максимальна кількість елементів в ξ -у БПЧ; $b_{\ell\xi}$ - ℓ -й

елемент ξ -го БПЧ; $\sum_{u=1}^{\xi-1} \eta_u$ - сума елементів в попередніх БПЧ; a_{ijz} - елемент ТСВ з координатами (i, j, z) .

Тривимірні структури відеоданих, які задовольняють вище перерахованим умовам є комбінаторними паралелепіпедами. Формування коду-номера для таких комбінаторних структур в плаваючому режимі для вибраного ознакового простору, що враховує звичний і симетричний напрями обробки, організується за формулою

$$\begin{aligned} N(W^{(3, \eta\xi)}, \Lambda)_{\eta\xi} &= \sum_{\ell\xi=2}^{\eta\xi} V(W^{(3, \ell\xi)}, \lambda_{\ell\xi}^{(\ell\xi)} = b_{\ell\xi}, \Lambda^{(\ell\xi-1)})_{\ell\xi} = \\ &= \sum_{\ell\xi=2}^{\eta\xi} (V(\sum_{\gamma=1}^{\ell\xi} b_{\gamma\xi}, b_{\ell\xi}, \Lambda^{(\ell\xi-1)})_{\ell\xi} - (\sum_{u=1}^2 V(\sum_{\gamma=1}^{\ell\xi} b_{\gamma\xi} + b_{\min u} - \lambda_u^{(\ell\xi)}, b_{\ell\xi}, \Lambda^{(\ell\xi-2)})_{\ell\xi} - \\ &- V(\sum_{\gamma=1}^{\ell\xi} b_{\gamma\xi} - \lambda_u^{(\ell\xi)}, b_{\ell\xi}, \Lambda^{(\ell\xi-2)})_{\ell\xi} + V(\sum_{\gamma=1}^{\ell\xi} b_{\gamma\xi} + b_{\min 1} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u^{(\ell\xi)}, b_{\ell\xi}, \Lambda^{(\ell\xi-3)})_{\ell\xi} + \\ &+ V(\sum_{\gamma=1}^{\ell\xi} b_{\gamma\xi} + \sum_{u=1}^2 b_{\min u} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u^{(\ell\xi)}, b_{\ell\xi}, \Lambda^{(\ell\xi-3)})_{\ell\xi}), \end{aligned} \quad (21)$$

де $V(W^{(3,\ell_\xi)}, \lambda_{\ell_\xi}^{(\ell_\xi)} = b_{\ell_\xi}, \Lambda^{(\ell_\xi-1)})_{\ell_\xi}$ - ваговий коефіцієнт ℓ_ξ -го елементу

ТУЗБПЧ; $V(\sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} b_{\gamma_\xi}, b_{\ell_\xi}, \Lambda^{(\ell_\xi-1)})_{\ell_\xi}$ - ваговий коефіцієнт ℓ_ξ -го елементу

без врахування зв'язності; $V(\sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} b_{\gamma_\xi} - \lambda_u^{(\ell_\xi)}, b_{\ell_\xi}, \Lambda^{(\ell_\xi-2)})_{\ell_\xi}$ - ваговий БП

коефіцієнт для БПЧ з довжиною ℓ_ξ і сумою $\sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} b_{\gamma_\xi} - \lambda_u^{(\ell_\xi)}$, $u=1,2$;

$V(w_u, b_{\ell_\xi}, \Lambda^{(\ell_\xi-1)})_{\ell_\xi}$, $V(w_{u_1}, b_{\ell_\xi}, \Lambda^{(\ell_\xi-3)})_{\ell_\xi}$ та

$V(w_{u_1, u_2}, b_{\ell_\xi}, \Lambda^{(\ell_\xi-3)})_{\ell_\xi}$ - вагові коефіцієнти елементу b_{ℓ_ξ} для - сум

$w_u = \sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} b_{\gamma_\xi} + b_{\min_u} - \lambda_u^{(\ell_\xi)}$, $w_{u_1} = \sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} b_{\gamma_\xi} - b_{\min_u} - \lambda_u^{(\ell_\xi)} - \lambda_{u_1}^{(\ell_\xi)}$ та

$w_{u_1, u_2} = \sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} b_{\gamma_\xi} + \sum_{u=1}^2 b_{\min_u} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u^{(\ell_\xi)}$; $W^{(3,\ell_\xi)}$ - вектор сум для

трихзв'язних БП чисел; $\lambda_u^{(\ell_\xi)}$ - u -е обмеження на динамічний діапазон елементу БП числа; b_{\min_u} - мінімальне значення для u -го елементу плаваючої послідовності.

Етап 4. Для додаткового підвищення ступеня стиску необхідно організувати розмітку ТСВ, яка дозволяє відбирати довільну кількість елементів, що розташовані в різних частинах ТСВ і забезпечує виключення втрати інформації через переповнювання машинного слова. Процес розмітки ТСВ включає:

1. Організацію процесу розподілу елементів ТСВ за послідовностями, для яких можна сформувати один код-номер з врахуванням обмежень на довжину машинного слова.

2. Знаходження позиції поточного БП числа, на яку необхідно розташувати черговий елемент ТСВ. При цьому вимагається забезпечити зменшення кількості операцій і значення коду номера.

При цьому розмітка повинна здійснюватися без задіявання додаткової службової інформації.

Для цього як показник відбору елементів ТСВ пропонується використовувати значення біноміально-поліадичного коефіцієнта. Такий вибір пояснюється тим, що значення БП коефіцієнта $V(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\eta_\xi)})_{\eta_\xi}$ може обчислюватися в напрямі, починаючи з молодших і закінчуючи старшими позиціями і його величина є верхньою межею значення коду-номера на кожному кроці кодування.

В цьому випадку правило відбору на основі аналізу значення біноміально-поліадичного коефіцієнту задається нерівністю

$$N(W^{(3,\eta_\xi)}, b_{\eta_\xi}, \Lambda^{(\eta_\xi-1)})_{\eta_\xi} \leq V(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\eta_\xi)})_{\eta_\xi}. \quad (22)$$

Для додаткового підвищення швидкості проведення розмітки ТСВ *пропонується заздалегідь проводити розмітку ТСВ на основі аналізу тільки інформації про обмеження на динамічний діапазон. Це*

пояснюється тим, що на обчислення добутку $\prod_{\gamma=1}^{\eta_\xi} \lambda_\gamma$ потрібно значно менша кількість операцій, ніж на визначення величини вагового коефіцієнта. При цьому величина цього добутку є верхньою межею значення БП коефіцієнта

$$V(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\eta_\xi)})_{\eta_\xi} \leq \prod_{\gamma=1}^{\eta_\xi} \lambda_\gamma. \quad (23)$$

Етап 5. Для зменшення кількості операцій, які витрачаються на кодування, пропонується обчислювати значення коду-номера ТСВ на поточному кроці обробки, використовуючи відоме значення БП коефіцієнта $V(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\eta_\xi)})_{\eta_\xi}$ та значення коду-номера $N(W^{(3,\eta_\xi-1)}, \Lambda^{(\eta_\xi-1)})_{\eta_\xi-1}$, що одержано на попередньому кроці обробки.

Експерименти по обробці реалістичних зображень розробленим методом показують, що значення коефіцієнта стиску змінюється в середньому від **5,5** до **70** разів залежно від ступеня насиченості. При цьому значення коефіцієнта стиску для тривимірної обробки в порівнянні з двовимірною обробкою збільшується до **3** разів.

Таким чином, розроблено метод компактного представлення на основі тривимірного біноміально-поліадичного кодування, що дозволяє скоротити тризнакову надмірність у тривимірному просторі.

ШОСТИЙ РОЗДІЛ присвячено розробці методу відновлення зображень на основі тривимірного усиченого зв'язного біноміально-поліадичного декодування і порівнюються характеристики розроблених та

існуючих методів стиску зображень. Проводиться порівняльна оцінка перешкодостійкості відеоданих, які стиснуті розробленим та відомими методами, до помилок в каналі зв'язку. Розробляється схемотехнічна реалізація запропонованих методів.

Для швидкого отримання початкових фрагментів зображення за їх компактним представленням без внесення погрішностей необхідно розробити тривимірне біноміально-поліадичне відновлення, що складається з наступних п'яти етапів:

Перший етап пов'язано з відновленням службової інформації. Другий етап полягає в проведенні розмітки тривимірної структури відеоданих за біноміально-поліадичними числами, для яких сформовано окремий код-номер. Проведення усіченого зв'язного біноміально-поліадичного декодування організовується на третьому етапі відновлення. Даний етап дозволяє по відомому значенню коду-номера відновити відібрані елементи, які можуть розташовуватися в різних частинах ТСВ. На четвертому етапі здійснюється отримання початкових індексів відновлених елементів біноміально-поліадичних чисел. Це дозволяє відновити початковий зміст тривимірної структури відеоданих. На останньому етапі здійснюється відновлення початкового динамічного діапазону елементів зображень.

Обґрунтовується, що біноміально-поліадичні кодові комбінації володіють перешкодостійкими властивостями, які полягають у тому, що: помилка в коді розповсюджується тільки в межах локального фрагмента; здійснюється самокорекція відновлюваних відеоданих (полягає у тому, що при декодуванні помилкового коду-номера деякі елементи можуть бути відновлені без погрішності); проводиться локалізація помилок (величини відхилення відновленого елемента від вихідного приймає значення на обмеженому інтервалі). Це забезпечує вигреш в значенні відношення сигнал/шум для розробленого методу щодо відомих методів рівний в середньому **15 дБ**.

Методи стиску та відновлення зображень без внесення погрішностей на основі усунення двухознакової комбінаторної надмірності в двомірному і тривимірному просторах забезпечують збільшення стиску в середньому від **1,7** до **5** разів для сильно- і середньонасичених реалістичних зображень і в середньому в **3** рази - для слабонасичених зображень. Виграш за сумарним часом обробки і передачі відеоданих для швидкості передачі даних $U_{\Pi} = 1,5 \times 10^6$ (біт/с) і середньої швидкості виконання машинних операцій $U_{обр} = 3 \times 10^8$ (м.о./с) досягає в середньому для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень відповідно від **1,8** до **3**; від **1,75** до **3,5** і до **4** разів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема, яка пов'язана з розробкою наукових основ забезпечуючих збільшення ступеня стиску зображень з різною насиченістю дрібними деталями та зниження часу передачі даних каналами зв'язку, без внесення погрішностей. Для цього створені теоретичні основи та методи стиску зображень на основі біноміально-поліадичного представлення.

Основні наукові результати:

I. Розроблено теоретичні основи біноміально-поліадичного представлення відеоданих, які включають:

1. Аналітичний вираз для визначення кількості допустимих біноміально-поліадичних чисел, елементи яких задовольняють одночасно обмеженням на суму і на динамічний діапазон; систему правил, що формують код-номер для біноміально-поліадичного числа і систему правил для відновлення елементів біноміально-поліадичних чисел без внесення погрішності за значенням коду-номера. При цьому біноміально-поліадичне кодування забезпечує усунення двохознакової комбінаторної надмірності.

2. Швидке симетричне біноміально-поліадичне кодування відеоданих, яке засновано на комбінаторній згортці виразів для кількості допустимих послідовностей на всьому діапазоні значень кожного елементу і на можливості зменшення значення суми елементів оброблюваної послідовності.

3. Швидке біноміально-поліадичне декодування, яке засновано на властивостях: симетричності, монотонності, одноперехідності і роздільності вагових БП коефіцієнтів. Дане декодування виключає необхідність в повному переборі за діапазоном значень відновлюваних відеоданих.

4. Усічене двузв'язне біноміально-поліадичне представлення відеоданих. Дане кодування ґрунтується на:

- аналітичному виразі для обчислення кількості раз появи пари залежних біноміально-поліадичних чисел;
- системі виразів, які забезпечують усічене двузв'язне біноміально-поліадичне кодування та декодування.

II. Розроблено метод тривимірного усіченого зв'язного біноміально-поліадичного кодування в плаваючому режимі без внесення погрішності. Даний метод дозволяє:

- формувати код-номер для довільної кількості елементів, що розташовані в різних частинах тривимірних структур відеоданих з наперед невідомими сумою елементів і завдовжки біноміально-поліадичного числа;

- організувати рекурентне обчислення значення коду-номера на основі відомих значень коду-номера попереднього етапу обробки і біноміально-поліадичного коефіцієнта.

Розроблений метод здійснює скорочення трьохознакової комбінаторної надмірності у тривимірному просторі.

III. Розроблено метод тривимірного біноміально-поліадичного відновлення зображень без внесення погрішності, який включає:

- двохетапну розмітку елементів тривимірних структур відеоданих за біноміально-поліадичними числами;

- тривимірне усічене зв'язне біноміально-поліадичне декодування, що забезпечує взаємодозначне відновлення елементів ТСВ за відомим значенням коду-номера, за кількістю і за знайденими позиціями елементів біноміально-поліадичних чисел у тривимірній структурі відеоданих.

Основні практичні результати:

1. Доведені до програмно – апаратних реалізацій методи стиску та відновлення зображень без внесення погрішності на основі біноміально-поліадичного представлення, які забезпечують стиск зображень в середньому від **5,5** до **70** разів залежно від ступеня насиченості.

2. Для розробленого методу тривимірного біноміально-поліадичного кодування, для швидкості передачі даних $U_{\text{п}} = 1,5 \times 10^6$ (біт/с) і середньої швидкості виконання машинних операцій $U_{\text{обр}} = 3 \times 10^8$ (м.о./с) часові витрати на обробку і передачу відеоданих знаходяться на рівні від **0,03** до **11** секунд залежно від класу і розміру зображень. Якнайменший вигреш за сумарним часом на обробку та передачу стиснутих зображень по каналу зв'язку для розробленого методу щодо відомих методів для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень рівний відповідно в середньому від **1,8** до **3**; від **1,75** до **3,5** і до **4** разів.

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

1) подальшому розвитку теорії інформації у області кодування, що полягає у вперше одержаних теорії та методах стиску на основі двовимірного і тривимірного біноміально-поліадичного представлень, які скорочують двохознакову комбінаторну надмірність;

2) подальшому розвитку комбінаторного аналізу в результаті вперше одержаних комбінаторних виразів для визначення допустимих об'ємів і правил нумерації для біноміально-поліадичних, усічених зв'язаних біноміально-поліадичних чисел.

3) скороченні сумарного часу обробки і передачі зображень без внесення погрішності по каналу зв'язку в середньому від **1,8** до **3**; від **1,75** до **3,5** і до **4** разів відповідно для сильно-, середньо- і слабонасичених зображень.

Достовірність отриманих результатів обґрунтовується їх несуперечністю основним положенням теорії інформації, теоретичним положенням поліадичного і біноміального представлень і доказом відновлення даних без внесення погрішності, а також підтверджується адекватністю результатів експериментальних досліджень, які одержані в ході функціонування розробленої програмної моделі, теоретичним даним, що отримані за виведеними аналітичними виразами для оцінки ступеня компактного представлення зображень.

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 та з обробки відеоінформації у процесі підготовки фахівців у ВНЗ України.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ ПРАЦЯХ

1. Баранник В.В., Королёва Н.А. Математическая модель представления серий элементов изображений полиадическими кодами // Системы обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип 3. – С. 174 – 178.
2. Баранник В.В., Королёва Н.А. Обоснование возможности компактного представления длин серий полиадическими кодами // Системы обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип 4(14). – С. 72 – 77.
3. Баранник В.В., Королёва Н.А. Определение отношения сигнал/шум при декодировании полиадических кодов длин серий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №3. – С. 31 – 38.
4. Баранник В.В., Королёва Н.А. Организация массивов длин серий для полиадического кодирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №4. – С. 20 – 23.
5. Баранник В.В., Королёва Н.А. Информационная модель представления серий элементов изображений полиадическими кодами // АСУ и приборы автоматики. – 2001. – Вып 117. – С. 36 – 43.

6. Баранник В.В., Королёва Н.А. Способ сокращения динамического диапазона массивов длин серий // АСУ и приборы автоматики. – 2002. – Вып 118. – С. 5 – 8.

7. Баранник В.В., Королёва Н.А. Иерархически – последовательная организация восстановления изображений // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 1. – С. 82 – 85.

8. Баранник В.В., Королёва Н.А., Поляков П.Ф. Метод комбинированного полиадического кодирования массивов длин серий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №5. – С. 42 – 46.

9. Баранник В.В., Королёва Н.А., Поляков П.Ф. Метод восстановления изображений // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 6(16). – С. 140 – 145.

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

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

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

13. 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.

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

15. Королев А.В., Баранник В.В. Оценка степени сжатия изображения // Электрон. моделирование. – 2002. – № 4. – С. 33 – 42.

16. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Метод восстановления цветowych координат и длин серий // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №2. – С. 100 – 104.

17. 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.

18. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Оценка времени восстановления изображения // Збірник наукових праць. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2002. – Вип. 16. – С. 3 – 8.

19. Баранник В.В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2002.- №1. – С. 17 – 25.

20. Баранник В.В. Метод двухпризнакового биномиального кодирования двоичных данных // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 6(22). – С. 24 – 28.

21. Баранник В.В. Метод двумерного структурного кодирования двоичных данных // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – № 1. – С. 109 – 112.

22. Баранник В.В. Метод трехмерного кодирования данных // Системи обробки інформації. – Харків: ХВУ. – 2003. – Вип. 1. – С. 42 – 46.

23. Баранник В.В. Метод биномиально-полиадической нумерации двоичных данных // Авіаційна космічна техніка та технології. – 2003. – № 8. – С. 117 – 122.

24. Баранник В.В. Метод одномерного биномиально-полиадического кодирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 2. – С. 61 – 66.

25. Баранник В.В. Метод быстрой биномиально-полиадической нумерации // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2004. – №1 (5). – С. 84 – 88.

26. Баранник В.В. Восстановление одномерных биномиально-полиадических чисел // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 43 – 49.

27. Баранник В.В. Быстрое симметричное биномиально-полиадическое декодирование // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 6. – С. 41 – 45.

28. Баранник В.В. Быстрая биномиально-полиадическая денумерация // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2003. – Вип. 22. – С. 18 – 24.

29. Баранник В.В. Метод структурного восстановления данных // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2003. – Вып. 26. – С. 103 – 106.

30. Баранник В.В. Быстрое разделимое рекуррентное биномиально-полиадическое декодирование // Збірник наукових праць ІПМЕ НАНУ. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2003. – Вип. 22. – С. 3 – 9

31. Баранник В.В. Быстрая пирамидальная биномиально-полиадическая денумерация // Системы обработки інформації. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 1. – С. 36 – 41.

32. Баранник В.В. Усеченное биномиально-полиадическое представление видеоданных // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 1. – С. 13 – 18.

33. Баранник В.В. Усеченное двусвязное биномиально-полиадическое кодирование видеоданных // Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – №2 (10) – С. 81 – 84.

34. Баранник В.В. Восстановление усеченных двусвязных биномиально-полиадических чисел // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – № 127. – С 28 – 34.

35. Баранник В.В. Трехмерная биномиально-полиадическая нумерация // Системы обработки інформації. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 3 – 7.

36. Баранник В.В. Метод трехмерного биномиально-полиадического восстановления изображений // Системы обработки інформації. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 3. – С. 3 – 10.

37. Баранник В.В. Двусвязное биномиально-полиадическое представление данных // Системы обработки інформації. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 5. – С. 3 – 9.

38. Баранник В.В. Метод сжатия изображений на основе трехмерного биномиально-полиадического кодирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 2. – С. 33 – 39.

39. Баранник В.В. Усеченное связное биномиально-полиадическое декодирование // Системы обработки інформації. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 6. – С. 3 – 8.

40. Баранник В.В. Метод трехмерного структурного кодирования изображений // Системы обработки інформації. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 8. – С. 114 – 118.

41. Баранник В.В. Оценка помехоустойчивости биномиально-полиадических кодовых конструкций при их передачи по каналу связи с ошибками // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2005. - №3 (11). – С. 29 – 33.

42. Баранник В.В. Метод пирамидального кодирования данных Матер второй международной НТК "Проблемы информатики и моделирования". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2002. – С. 23.

43. Баранник В.В. Метод двумерного биномиального кодирования XI-я міжнародна НТК "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2003. – С. 658.

44. Баранник В.В. Структурно – частотная модель изображений 15-я Международная школа – семинар "Перспективные системы управления на

железнодорожном, промышленном и городском транспорте”, Алушта, 2002 С. – 27.

45. Баранник В.В. Метод кодування двовимірних структур двійкових даних Матер. І НТК “Проблеми розробки і удосконалення засобів телекомунікації систем управління в ЗСУ” – К.: МОУ, ВІПІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – С. 40

46. Баранник В.В. Метод исключения избыточности в трехмерных структурах данных Международная научно - практическая конференция “Современные технологии в менеджменте”, Харьков “ХАИ”, 2003. – С. 5.

47. Баранник В.В. Метод сжатия данных в трехмерном пространстве 16-я Международная школа – семинар “Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте”, Алушта, 2003 г. – С. 47.

48. Баранник В.В. Метод трехмерного структурного кодирования данных Міжнародна науково-практична конференція “Соціально-економічні та екологічні проблеми використання і охорони земель в умовах реформування земельних відносин”, - Харків: ХНАУ, 2003. – С. 8.

49. Баранник В.В. Метод восстановления трехмерных структур данных Матер. третьей международной НТК “Проблемы информатики и моделирования”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2003. – С. 21.

50. Баранник В.В. Метод восстановления трехмерных структур видеоданных XII-я міжнародна НТК “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2004. – С. 728.

51. Баранник В.В. Двусвязное усеченное кодирование видеоданных Науково-технічна конференція “Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування інформаційних систем космічного і наземного базування”, Житомир ЖВІРС”, 2004. – С. 33 – 34.

АНОТАЦІЯ

Баранник В.В. Теоретичні основи та методи стиску зображень в телекомунікаційних системах на підставі біноміально-поліадичного представлення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2006.

У дисертаційній роботі показано, що подальше вдосконалення телекомунікаційних систем пов'язано з рішенням суперечності між необхідними об'ємами інформаційних потоків, які вимагається обробляти і передавати у реальному часі без внесення погрішностей та обмеженими технічними можливостями підсистем обробки і передачі відеоданих. Розроблено теоретичні основи компактного представлення зображень на основі швидкого та усічено-зв'язаного біноміально-поліадичного представлення. На основі теорії біноміально-поліадичного представлення розроблено метод стиску зображень в тривимірному просторі без внесення погрішностей. У цьому випадку стиск зображень досягається за рахунок усунення триознакової комбінаторної надмірності у тривимірному просторі. Розроблено метод відновлення зображень на основі тривимірного біноміально-поліадичного декодування, що забезпечує достовірне відновлення зображень.

Ключові слова: обсяг інформаційного потоку, біноміально-поліадичне представлення, комбінаторна надмірність, двозв'язне біноміально-поліадичне число, тривимірні структури відеоданих.

АННОТАЦІЯ

Баранник В.В. Теоретические основы и методы сжатия изображений в телекоммуникационных системах на основе биномиально-полиадического представления. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2006.

В диссертационной работе показано, что дальнейшее совершенствование телекоммуникационных систем связано с решением противоречия между необходимыми объемами информационных потоков (порядка 10^3 Гбит), которые требуется обрабатывать и передавать в реальном времени без внесения погрешности и ограниченными техническими возможностями подсистем обработки и передачи видеоданных по скорости обработки и скорости передачи данных по каналу связи. Наименее дорогостоящее направление решения данного противоречия заключается в компактном представлении видеоданных без внесения погрешности. Однако, проведенный анализ известных методов сжатия не вносящих погрешности выявил, что они обеспечивают сжатие реалистических изображений в среднем в 2 - 3 раза. Суммарное время на обработку и передачу по ТС сжатых

видеоданных достигает *десятков минут*. Следовательно, методы сжатия, построенные на основе известных теоретических подходов устранения избыточности, не обеспечивают решения существующего информационно-технического противоречия. Проблемный анализ известных подходов к устранению избыточности изображений выявил, что компактное представление данных на основе одновременного учета структурных закономерностей по нескольким признакам приводит к получению новых кодовых конструкций лишенных недостатков существующих методов. В работе разработаны теоретические основы биномиально-полиадического представления видеоданных с произвольной мощностью алфавита, включающие в себя: системы правил, позволяющих формировать код-номер для последовательности видеоданных, элементы которой удовлетворяют одновременно ограничениям на динамический диапазон и на значение суммы; систему правил, обеспечивающую восстановление исходных видеоданных без внесения погрешности на основе биномиально-полиадического декодирования. В данном случае достигается устранение двухпризнаковой комбинаторной избыточности в двумерном пространстве. Для снижения времени обработки разрабатывается быстрое биномиально-полиадическое представление, основанное на комбинаторной свертке выражений для количества допустимых последовательностей по всему диапазону значений каждого элемента и на симметричности весовых коэффициентах. Для дополнительного повышения степени сжатия и снижения времени обработки без внесения погрешности разрабатывается усеченное связанное биномиально-полиадическое представление. Для этого были получены комбинаторные выражения для вычисления количества раз появления пары зависимых биномиально-полиадических чисел и системы выражений, обеспечивающие усеченное двусвязное биномиально-полиадическое кодирование и декодирование. На основе полученных теоретических положений разработан метод трехмерного усеченного связанного биномиально-полиадического кодирования в плавающем режиме без внесения погрешности. В этом случае компактное представление обеспечивается за счет сокращения трехпризнаковой комбинаторной избыточности в трехмерном пространстве. Для этого метод сжатия имеет особенности, состоящие в том, что: формирование кода-номера проводится для произвольного количества элементов, расположенных в различных частях трехмерных структур видеоданных; организуется рекуррентное вычисление значения кода-номера на основе известных значений кода-номера предыдущего этапа обработки и биномиально-полиадического коэффициента. Для восстановления видеоданных разрабатывается метод

трехмерного биномиально-полиадического декодирования. При этом наименьший выигрыш по суммарному времени на обработку и передачу сжатых изображений по каналу связи для разработанного метода относительно известных методов для сильно-, средне- и слабонасыщенных изображений равен соответственно в среднем от **1,8** до **3**; от **1,75** до **3,5** и до **4** раз.

Ключевые слова: объем информационного потока, биномиально-полиадическое представление, комбинаторная избыточность, двусвязное биномиально-полиадическое число, трехмерные структуры видеоданных.

ABSTRACT

Barannik V.V. The theoretical fundamentals and methods of images compression in telecommunication systems on the basis of binomial-polyadical conception. – Manuscript.

Thesis on reception scientific degrees of the doctor of technical sciences on speciality 05.12.02 – telecommunication systems and networks The Ukrainian state academy of railway transport, Kharkov, 2006.

It is revealed in the dissertation that further development of telecommunication systems is bound with resolving the contradiction between necessary volumes of informative flows, which are to be processed and transmitted within real time and without errors and limited technical capabilities of subsystems of processing and transmission of videoinformation. The theoretical fundamentals of compact images presentation of the basis of the fast and truncated-linked binomial-polyadical conception have been worked out. On the basis of theory of binomial-polyadical conception, the method of images compression in three-dimensional space without errors has been worked out. In this case the images compression is achieved due to elimination of three sign combinatoric redundancy in three-dimensional space. The method of image restoration on the basis of three-dimensional binomial-polyadical decoding, which is ensures authentic image restoration, has been worked out.

Keywords: the volume of informative flow, binomial-polyadical conception, combinatoric redundancy, two-link binomial-polyadical number, three-dimensional structures of videoinformation.