

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Іванов Володимир Георгійович



УДК 004.627;004.93

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ Й ІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ АГРЕГАТИВНОГО КОДУВАННЯ
І СТИСКУ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Харків – 2008

Дисертація є рукописом

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Робота виконана на кафедрі інформатики й обчислювальної техніки Національної юридичної академії України імені Ярослава Мудрого та кафедри системного аналізу і управління Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерство освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор **Шаронова Наталія Валеріївна**, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України, завідувач кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем.
- доктор технічних наук, професор **Машталір Володимир Петрович**, Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, декан факультету комп'ютерних наук.
- доктор технічних наук, доцент **Файнзільберг Леонід Соломонович**, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем Національної академії наук, Міністерство освіти і науки України, провідний науковий співробітник, м. Київ.

Захист відбудеться «20» лютого 2008 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” МОН України за адресою: вул. Фрунзе 21, Харків-2, 61002.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” МОН України за адресою: вул. Фрунзе 21, Харків-2, 61002.

Автореферат розісланий « _____ » _____ 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Гамаюн І.П.

Актуальність проблеми. Стрімкий розвиток інформаційних технологій призвів до істотного збільшення інформаційних потоків між територіально розподіленими джерелами й одержувачами повідомлень і суттєвого зростання обсягів інформації різного виду, яка зберігається в архівах і базах даних. Оскільки значна частина даних, які передаються є графічною, аудіо- або відеоінформацією, вимоги до технічних параметрів засобів зв'язку і систем збереження стають надзвичайно високими. Ефективне функціонування і розвиток комунікативно-комп'ютерних систем збереження, обробки, передачі і розвитку мультимедійної інформації неможливе без використання методів стиску даних. Проте, підвищення ефективності функціонування зазначених систем у цій важливій науковій і практичній галузі потребує розробки новітніх методів обробки інформації.

Розробка та практичне застосування нових методів стиску даних сприятимуть виконанню важливої державної програми “Електронна Україна” по створенню системи національних електронних інформаційних ресурсів, що дозволить вирішити стратегічну задачу входження України у світове інформаційне співтовариство.

Тому *важливою науково-практичною проблемою* є підвищення ефективності кодування та стиску даних шляхом розробки теоретичних основ, моделей та інформаційних технологій, що забезпечують скорочення статистичної, структурної, психофізичної і змістовної надмірності повідомлень за допомогою поєднання і комбінування різноманітних методів стиску даних і методів розпізнавання образів, що дозволяє послабити існуючу суперечність між експонентним зростанням обсягу інформаційних медійних потоків і можливостями сучасних систем та технологій по їх збереженню або передачі.

Основні ідеї дисертаційних досліджень спираються на праці А.П. Мановцева, В.А. Свириденка, А.А. Харкевича, Д.С. Лебедева, Л.П. Ярославського, Е.М. Бравермана, Н.В. Завалішина, М.І. Шлезінгера, П.Ф. Полякова, І.Б. Сироджи, Е.П. Пуятіна, Н. Ахмеда, К.Р. Рао, Г. Ендрюса, У. Претта, А.К. Джайна, М. Кунта, Р. Дуда, П. Харта, Д. Селомона, Яна Річардсона, Р. Гонсалеса, І. Дебеші, С. Малла, Д. Форсайта й ін.

Однак, незважаючи на істотні досягнення в цій галузі, стає очевидним той факт, що розроблені у рамках класичної теорії методи наближаються до притаманної їм межі ефективності кодування зображень і залишається усе менше можливостей для збільшення ступеню стиску інформації. З іншого боку, найефективніший на сьогоднішній момент кодер – зоровий аналізатор людини – зменшує обсяг оброблюваної інформації не менш, ніж на сім порядків, що дає надію на створення принципово нових підходів до кодування зображень.

Таким чином актуальною є проблема розробки та дослідження нових інформаційних технологій скорочення статистичної, структурної, психофізичної і змістовної надмірності на основі об'єднання й комбінування

різних методів стиску даних і методів розпізнавання образів, що дозволить розробити і застосувати ці методи з єдиних системних позицій та вирішити задачі економного опису повідомлень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з науково-дослідною діяльністю кафедри інформатики та обчислювальної техніки Національної юридичної академії України імені Ярослава Мудрого і виконувалася в рамках госпдоговірних тем: "Розробка й удосконалення методів спектрального аналізу і фільтрації сигналів в ортогональних базисах" (Харківський інститут інженерів залізничного транспорту); "Прикладні задачі обробки сигналів для промислової риборозвідки" (Харківський інститут радіоелектроніки); "Адаптація програмних засобів до обчислювального середовища замовника і їхнє правове забезпечення" (Ленінградське спеціальне конструкторсько-технологічне бюро ім. В.Я. Климова, продовження теми "Автоматизована система обробки температурних полів досліджуваних об'єктів" № 01860116829/1986); "Створення та впровадження автоматизованої системи кодування і пошуку зображень печаток і штампів АС "Кліше" (Науково-дослідний експертно-криміналістичний центр при УМВС у Харківській області, договір про науково-творче співробітництво); "Проблеми криміналістичного забезпечення діяльності правоохоронних органів" (затверджена постановою Президії АПрН України від 14 лютого 2002 р. № ДР 0102U002194, Інститут вивчення проблем злочинності АПрН України, м. Харків) у яких здобувач брав участь як науковий керівник або провідний науковий співробітник.

Мета і задачі досліджень. Мета дисертаційної роботи – підвищення ефективності стиску даних у мультимедійних архітектурах і мережних інформаційних системах на основі обґрунтування нових інформаційних технологій скорочення статистичної, структурної, психофізичної і змістовної надмірності повідомлень.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано й вирішено наступні задачі:

1. Проведення системного аналізу методів стиску даних і побудовання класифікації цих методів за критерієм ефективності та якості стиску з метою обґрунтування і розвитку концепції агрегативного кодування інформації.

2. Дослідження методів швидких узагальнених перетворень Хаара і розроблення обчислювальних схем цих перетворень для вектора і площини довільної розмірності, а також модифікування методів сумування рядів Хаара у двійковій системі числення.

3. Виявлення резервів підвищення ефективності стиску при Фур'є- та вейвлет-аналізі зображень за класичною схемою JPEG-технологій, у тому числі:

– модифікування методу JPEG-кодування за рахунок додавання процедури обліку міжблочної кореляції коефіцієнтів косінусного перетворення і властивостей їхніх бітових площин.

розроблення та дослідження методу стиску зображень на основі моделі виділення і компенсації контурів при вейвлет-перетворенні.

4. Проведення узагальнення методів JPEG і вейвлет-кодування для стиску звукових даних та розроблення методу стиску на основі поетапного виділення точок екстремума в структурі сигналу.

5. Розроблення паралельних та послідовних архітектур обчислювачів трансформант Хаара і вейвлет-коефіцієнтів та їх порівняльне дослідження.

6. Дослідження й розроблення методів стиску зображень на основі моделі автоматичної класифікації фрагментів і більш загальної моделі – нечіткої класифікації.

7. Вирішення задачі скорочення змістовної надмірності зображень деяких класів на основі моделей виділення областей об'єктів і тла та подальшого кодування їх з різною візуальною якістю.

Об'єктом дослідження є процеси ефективного кодування даних різної фізичної природи.

Предметом дослідження є моделі, методи й інформаційні технології агрегативного кодування і стиску мультимедійних даних на основі перетворень і класифікації.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувалися математичний апарат теорії імовірностей і математичної статистики, окремі розділи функціонального аналізу і теорії ортогональних і біортогональних базисів, узагальнена спектральна теорія сигналів і теорія інформації, чисельні методи моделювання на ЕОМ, методи сегментації зображень на основі кластера-аналізу і виділення контурів, апарат теорії нечітких множин, процедурні і структурні методи побудови й моделювання паралельних і послідовних обчислювальних структур. Значну частину досліджень становлять комп'ютерні експерименти по обробці реалістичних мультимедійних даних, спрямовані на одержання сталих і достовірних підсумкових характеристик алгоритмів стиску.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше запропоновано, обґрунтовано й застосовано агрегативний комбінаторно-системний підхід для рішення науково-практичної проблеми підвищення ефективності кодування і стиску даних. Цей підхід засновано на поєднанні методів теорії інформації, узагальнених Фур'є- та вейвлет-перетворень і методів розпізнавання образів. Основні нові наукові результати:

1. Побудовано перспективну класифікацію методів стиску даних за критерієм ефективності та якості стиску, що дозволила виявити проблемні питання цієї предметної галузі; обґрунтовані і отримали подальший розвиток інформаційні технології кодування зображень на основі агрегативно-комбінаторного підходу, який відрізняється тим, що він об'єднав різноманітні методи скорочення надмірності і методи розпізнавання образів, що дозволило застосувати ці методи з єдиних системних позицій і вирішити задачі економного опису повідомлень.

2. Отримали подальший розвиток обчислювальні схеми швидких узагальнених перетворень Хаара, завдяки введенню системи базових векторів, що дозволило здійснювати швидкі перетворення Хаара для довільного числа

точок в одному і двох вимірах. Також модифіковано метод сумування рядів Хаара у двійковій системі числення, завдяки використанню отриманого виразу, який відрізняється процедурою утворення сум Хаара, що дало можливість покращити обчислювальні властивості метода.

3. Отримав подальший розвиток метод стиску зображень на основі вейвлет-перетворень, який відрізняється процедурою виділення і компенсації контурів на відповідних етапах вейвлет-перетворень, що дозволило знизити обсяг обчислень та підвищити ефективність стиску; модифіковані методи JPEG-кодування зображень, які відрізняються від відомих доданою процедурою обліку міжблочної кореляції коефіцієнтів косінусного перетворення і властивостей їх бітових площин, що дало можливість підвищити якість відновлюваних зображень у системах стиску або ступінь компресії при збереженні тієї самої якості.

4. Отримав подальший розвиток метод кодування мультимедійних даних на основі узагальнення форматів JPEG-технологій і вейвлет-перетворення для стиску звукових сигналів, що відрізняється використанням повного дерева бінарного розкладання, а також метод стиску, який відрізняється рекурсивною процедурою виділення екстремальних точок у структурі сигналу, що дало можливість підвищити ефективність кодування мови у порівнянні з форматом MP3 для початкового сигналу високої якості.

5. Удосконалені процедурно-структурні методи побудови і критерії оцінювання ефективності і складності рівнобіжних і послідовних обчислювачів трансформант Хаара і вейвлет-коефіцієнтів, які відрізняються розширеною можливістю побудови паралельно-послідовних структур, що дозволило обирати оптимальні схемні рішення при наявності заданих обмежень на обсяги обчислень або кількість технологічних модулів.

6. Уперше в рамках JPEG-технологій запропоновано метод стиску, який відрізняється застосуванням автоматичної і нечіткої класифікації фрагментів з використанням процедури просіювання та попередньої декореляції елементів зображення, що дає можливість істотно, в декілька разів, зменшити обсяг даних для сильнаосичених детальних зображень, наприклад, відбитків печаток у порівнянні з результатами, отриманими за допомогою методів на основі вейвлет-перетворень.

7. Уперше запропоновано метод скорочення змістовної надмірності реалістичних зображень, що відрізняється алгоритмом виділення (класифікації) об'єктів і тла та подальшої їх обробки як з різним ступенем якості, так і з використанням різних методів, що дозволило з єдиних позицій підійти до вирішення задачі кодування й аналізу зображень та істотно підвищити ефективність стиснутого опису повідомлень.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень дисертаційної роботи підтверджується коректним використанням як класичних, так і сучасних математичних методів, результатами чисельного моделювання на ЕОМ, а також результатами практичного впровадження.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення досліджень полягає в тому, що сформовано науково-методичну основу для реалізації в інформаційних технологіях високоефективних мультимедійних архітектур, які охоплюють цілий комплекс засобів: алгоритми стиску, формати файлів, програмні й апаратні рішення для їх підтримки, які придатні для практичного застосування як на базі універсальних обчислювальних засобів загального, так і спеціального призначення.

Результати дисертації впроваджені у вигляді моделей, методів, алгоритмів і пакетів прикладних програм при рішенні задач ефективного кодування та багатофункціональної обробки мультимедійних даних, що підтверджується актами і довідками впровадження наступних підприємств і організацій: Центра радіофізичного зондування землі ім. О.І. Калмикова НАН і НКА України (м. Харків), Науково-виробничого підприємства "Хартрон-Аркос", Державного науково-виробничого підприємства "Об'єднання Комунар" (м. Харків), Харківського науково-дослідного інституту судових експертиз ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса (м. Харків), Інституту вивчення проблем злочинності Академії правових наук України (м. Харків), а також у навчальному процесі кафедри криміналістики Національної юридичної академії України імені Ярослава Мудрого (м. Харків).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертації, що виносяться на захист, одержані здобувачем самостійно. Серед них: класифікація методів стиску даних та концепція агрегативного кодування мультимедійних даних; обчислювальні схеми швидких узагальнених перетворень Хаара для довільного числа точок в одному і двох вимірах; обчислювальні схеми сумування рядів Хаара у двійковій системі числення; підхід до стиску зображень на основі моделі виділення та компенсації контурів при вейвлет-перетворенні; способи модифікації методів JPEG-кодування зображень; узагальнення форматів JPEG-технологій та вейвлет-перетворень для стиску звукових сигналів; метод стиску на основі поетапного виділення точок екстремуму в структурі сигналу; процедурно-структурні методи побудови обчислювачів трансформант Хаара та вейвлет-коефіцієнтів і результати оцінювання їх складності та ефективності; підхід до стиску зображень на основі моделі автоматичної класифікації фрагментів та нечіткої класифікації; метод скорочення змістовної надмірності у реалістичних зображеннях.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: Всесоюзном науково-технічному симпозиумі по електромагнітній сумісності (Москва, 1986); Всесоюзній школі-семинарі по методам представлення і обробки случайних сигналів і полів (Харьков-Туапсе, 1987); Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми создания и использования отраслевых информационно-диспетчерских систем на основе компьютеризации и перспективных средств связи" (Калуга, 1988); II Республиканском семинаре "Проблеми создания систем обработки, анализа и распознавания изображений" (Ташкент, 1989); Всесоюзній науково-технічній конференції "Компьютерные методы

исследования проблем теории и техники передачи дискретных сигналов по радиоканалам» (Евпатория, 1990); II Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Контроль, управление и автоматизация в современном производстве (КУА-90)» (Минск, 1990); II Всесоюзной конференции «Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического и машинного моделирования» (Гамбов, 1991); конференции «Проблемы создания систем обработки, анализа и понимания изображений» (Ташкент, 1991); IV International Conference «Computer Analysis of Images and Patterns CAIP'91» (Dresden, 1991); XIV Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике (КиНО - 91) (Ленинград, 1991); I Всесоюзной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии (РОАИ-91)» (Минск, 1991); 7th IFAC/IFIP/IFORS/IMACS/ISPE SYMPOSIUM INCOM'92 «Information control problems in manufacturing technology» (Toronto, Ontario, Canada, 1992); 10th, 11th ISPE/IFAC International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future (CARs & FOF'94, '95) (Ottawa, Canada, 1994; Pereira, Colombia, South America, 1995); 4-й Українській конференції з автоматичного управління за участю міжнародних спеціалістів «Автоматика 97» (Черкаси, 1997); III Международной конференции «Теория и техника передачи и обработки информации» (Харьков–Туапсе, 1997); Пятой Международной конференции по распознаванию образов и обработке информации (PRIP'99) (Минск, 1999); 3-й, 6-й Международных конференциях «Цифровая обработка сигналов и её применение» (Москва, 2000, 2004); Міжнародних конференціях з управління «Автоматика – 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006» (Львов-2000, Одеса-2001, Севастополь-2003, Киев-2004, Харьков-2005, Вінниця-2006); X, XI, XII, XIII, XIV, XV міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007); 1-ом Международном радиоэлектронном форуме «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ – 2002 (Харьков, 2002); Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми криміналістики» (Харків, 2003); VI Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (Москва, Россия, 2004); VII, VIII Всеукраїнських міжнародних конференціях «UkrObraz'2004, 2006»: «Обработка сигналов и изображений та розпізнавання образів» (Київ, 2004, 2006); 5-й Международной конференции «Проблемы информатики и моделирования – 2005» (ПИМ-2005) (Харьков, 2005); VI Международной конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века (G&T zakv 2005)» (Воронеж, Россия, 2005); VII, VIII международных научно-практических конференциях «Современные информационные и электронные технологии» (СИЭТ'2001, 2006, 2007) (Одесса, 2001, 2006, 2007).

Публікації. За темою дисертаційних досліджень опубліковано 87 наукових праць: у тому числі 31 стаття у фахових виданнях ВАК України, 1 авторське посвідчення на винахід.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків, додатка та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 326 сторінок, з них: 6 рисунків на окремих сторінках, 97 рисунків за текстом, 15 таблиць за текстом, додаток на 8 сторінках, список використаної літератури із 335 найменувань на 32 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовується актуальність обраної теми дослідження, формулюються мета і задачі дослідження, вказуються об'єкт, предмет і методи дослідження, визначаються наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача в роботи, виконані в співавторстві, наводиться перелік симпозиумів і конференцій, на яких здійснювалася апробація результатів дисертації, і кількість публікацій по темі дисертаційної роботи.

У *першому розділі* проведено детальний і системний аналіз методів стиску даних і знайдені їх загальні і відмітні сталі ознаки, якими, у першу чергу, є види скорочуваної надмірності. На основі цих ознак побудовано схему класифікації методів стиску даних, що дозволила виявити проблемні питання цієї предметної області. Розглядаються причини виникнення структурної, змістовної, кодової, міжелементної (статистичної) і психофізичної надмірностей, зумовлених детермінованими або імовірнісними зв'язками між окремими елементами в повідомленні, нерівномірністю розподілу імовірностей двійкових символів цих елементів, особливостями сприйняття інформації людиною, а також цілями і задачами обробки. Вибираються показники якості, і формується критерій ефективності підсистем стиску даних.

Відзначається, що в зв'язку з успіхами в області вивчення механізму зору, розпізнавання зорових образів і аналізу сцен, відкривається нова можливість в усуненні структурної надмірності зображень на основі контурно-текстурної моделі, яка зводиться до сегментації зображення на окремі області, оточені контурами. Контурна і текстурна інформація потім кодується окремо. Ці методи називаються структурними або методами стиску другого покоління.

Розглядається й інший вид надмірності структурного типу, який визначається семантичною природою зображення на підставі мети обробки й аналізу зображень – змістовна надмірність. У задачах стиску зображень усунення змістовної надмірності полягає у виділенні об'єктів з фону та кодування їх з високою візуальною якістю. Це найбільш складний і ефективний підхід до вирішення задачі стиску зображень прийнятий у дисертації, де в максимальному ступені поєднуються і використовуються методи розпізнавання образів і ефективного кодування даних.

Розглянуті особливості стиску даних, пов'язані з обробкою звукових сигналів і алгоритмами стиску та відновлення динамічних зображень. Сформульовано тезу науково-практичної проблеми дисертації і здійснено постановку задач досліджень.

В другому розділі обґрунтовується вибір напрямків досліджень на основі запропонованої узагальноної моделі технологічного середовища стиску даних, наводяться методи вирішення окремих задач і їх порівняльні оцінки, розробляється загальна методика проведених у дисертації досліджень. Модель відображує концептуальний агрегативний підхід до кодування зображень шляхом об'єднання незалежних методів скорочення надмірності і методів розпізнавання образів і містить у собі декомпозиційні складові на основі моделей розкладання сигналів у ряди Фур'є, вейвлет-аналізу і контурно-текстурної моделі, яка в свою чергу основана на групуванні даних (виращування областей і автоматичної класифікації), дозволяючи залишатися при цьому в рамках класичних методів теорії і практики JPEG-стиску зображень. Структурна схема запропонованої узагальноної моделі стиску даних представлена на рис. 1.

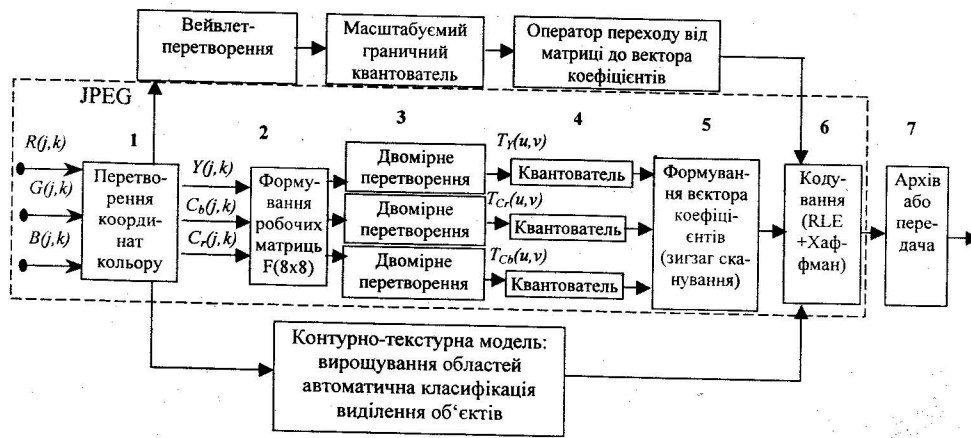


Рис. 1. Узагальнена модель технологічного середовища стиску даних.

Прийнято, що якщо елементи матриці вхідних блоків зображення F породжуються випадковим процесом з нульовим середнім і відомою коваріацією, то середній квадрат помилки між фрагментом F і його наближенням \hat{F} буде дорівнювати

$$\begin{aligned} \varepsilon &= E \left\{ \|F - \hat{F}\|^2 \right\} = E \left\{ \left\| \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} T(u,v) H_{uv} - \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} \gamma(u,v) T(u,v) H_{uv} \right\|^2 \right\} = \\ &= E \left\{ \left\| \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} T(u,v) H_{uv} [1 - \gamma(u,v)] \right\|^2 \right\} = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} \sigma_{T(u,v)}^2 [1 - \gamma(u,v)], \end{aligned} \quad (1)$$

де $\|F - \hat{F}\|$ є норма матриці $(F - \hat{F})$, а $\sigma_{T(u,v)}^2$ - дисперсії коефіцієнтів $T(u,v)$ ортогонального розкладання в точці (u,v) , H_{uv} - матриці базисних зображень,

$\gamma(u,v)$ - маскуюча функція, призначена для видалення тих базисних зображень, які дають найменший внесок у суму для матриці F фрагмента.

У такий спосіб сумарний середній квадрат помилки наближення дорівнює сумі дисперсій коефіцієнтів відкинутих членів послідовностей, тобто для яких $\gamma(u,v) = 0$, а $[1 - \gamma(u,v)]$ в (1) дорівнює 1. Перетворення, що перерозподіляють або упаковують максимальну кількість інформації в найменше число коефіцієнтів, забезпечують найкраще наближення елементів блоку і, як результат, дають найменшу помилку відновлення. До таких перетворень належать перетворення Фур'є, Хаара, Уолша-Адамара і дискретне косінусне перетворення (ДКП, DCT), які найчастіше застосовуються для цілей стиску даних. Шляхом чисельного моделювання на ЕОМ проведено статичний аналіз ефективності того або іншого перетворення за критерієм нерівномірності розподілу дисперсій коефіцієнтів перетворення, а також їхньої залишкової кореляції для широкого класу тестових зображень (<http://www.icsl.ucla.edu>), що традиційно використовуються для аналізу алгоритмів стиску даних. Усі перетворення за ефективністю порівнювалися з перетворенням Карунена-Лоева (КЛ). Власні значення і власні вектори перетворення Карунена-Лоева були отримані в цьому розділі з використанням програмного середовища Matlab.

Як приклад на рис. 2 наведені матриці значень дисперсій коефіцієнтів косінусного перетворення і перетворення Хаара для тестового зображення Zelda, що наочно ілюструє методи стиску на основі перетворень: коефіцієнти перетворень з малими значеннями дисперсій можуть бути відкинуті або закодовані малою кількістю двійкових розрядів.

Zelda cos										haar									
2153	143	23	11	6	4	3	2	1	1	2208	114	6	6	13	12	3	3	1	1
104	20	9	4	3	2	1	1	1	1	24	6	5	13	3	3	3	3	0	0
14	8	4	2	2	1	1	1	1	1	18	12	14	3	3	3	1	1	1	1
6	3	2	1	1	1	1	1	1	1	13	13	2	2	3	1	1	1	1	1
3	2	1	1	1	1	1	0	0	0	13	3	4	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 2. Дисперсії коефіцієнтів перетворень для відповідних тестових зображень.

Підтверджено, що найкращими з погляду мінімізації середньо квадратичної помилки, яка дорівнює сумі відкинутих коефіцієнтів у (1), є перетворення КЛ, що одночасно цілком декорелює вихідні дані, тобто коваріаційна матриця в результаті цього перетворення стає діагональною. Однак, якщо виграти у якості відновленого зображення Zelda складає приблизно 58 % при малих коефіцієнтах стиску ($K_{cm}=1,3$) і близько 23 % при великих ($K_{cm}=4,57$), то для сильнонасичених детальних зображень печаток (rechat) цей виграти складає уже відповідно 18 і 6 відсотків.

Отримані результати досить добре узгоджуються з даними інших дослідників, які для аналізу у якості статистичної моделі зображення вибирали

двовимірний марковський процес першого порядку або ті ж тестові зображення.

Відзначається, що відмінність моделі вейвлет-кодування від JPEG-моделі трансформаційного кодування на рис. 1 полягає у відсутності етапу формування окремих блоків на зображенні. Вейвлет перетворення досліджуваних зображень проводилося з використанням двох пар фільтрів h і \tilde{h} , що були отримані на підставі виразів

$$\tilde{h}_{n,m}(\omega) = \sqrt{2} \left(\frac{1 + e^{i\omega}}{2} \right)^n; h_{n,m}(\omega) = \sqrt{2} \left(\frac{1 + e^{i\omega}}{2} \right)^2 P_m \left(\sin^2 \frac{\omega}{2} \right) e^{-im\omega}, \quad (2)$$

де $P_m(x) = \sum_{s=0}^{m-1} C_{m-1+s}^s x^s$ – багаточлен Дебеші. У силу особливостей розкладаючих фільтрів h і \tilde{h} , вейвлет-перетворення, що були реалізовані за допомогою пари фільтрів при $N=3$, $M=9$ визначені – long (довгі), а за допомогою пари фільтрів при $N=2$, $M=2$ – short (короткі). Після визначення вейвлет-коефіцієнтів при заданій “глибині занурення” (D) необхідно в моделі перейти від матричної форми представлення даних до векторної. Для послідовного розташування коефіцієнтів, отриманих на різних етапах занурення, доцільно використовувати методику, представлену на рис. 3.

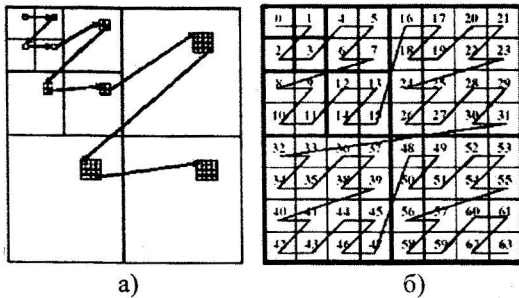


Рис.3. Порядок зчитування вейвлет-коефіцієнтів на прикладі трьохшагового перетворення: а) спектр усього зображення, б) деталізація одного з масштабів.

може змінюватися як функція положення коефіцієнта в блоці, що дозволяє об'єднати етапи квантування і виділення за порогом, замінюючи $\gamma(u,v)$ $T(u,v)$ у (1) на $\hat{T}(u,v) = \text{round} \left[\frac{T(u,v)}{Z(u,v)} \right]$, де $\hat{T}(u,v)$ – результат квантування і поділу за порогом значення $T(u,v)$, а $Z(u,v)$ – елемент масиву (матриці) нормалізації коефіцієнтів перетворення. При цьому кожне зі значень $T(u,v)$ поділяється на коефіцієнт квантування, індивідуальний для кожної просторової частоти, який береться з заздалегідь визначеної матриці (таблиці) нормалізації розміром 8x8.

Ефективність того або іншого перетворення оцінювалася коефіцієнтом стиску (K_{cm}) при однакових значеннях середньоквадратичної помилки (СКП) відновленого зображення. Результати обчислень зведені в таблицю 1. Аналіз даних таблиці дозволяє зробити загальний висновок про те, що для перших трьох класів розглянутих реалістичних зображень (Zelda; Lena; Cameraman) найкращий стиск забезпечує вейвлет-перетворення на основі довгих фільтрів (Wav-long). Найбільш “незручним” для стиску є зображення Voat.bmp (найменший K_{cm} для всіх СКП). Наступним за критерієм “незручності” йдуть зображення Cameraman.bmp, Lena.bmp і Zelda.bmp.

Таблиця 1

Значення K_{cm} від СКП для різних перетворень і класів зображень

Метод	ZELDA.BMP (СКП)				LENA.BMP (СКП)				CAMERAMAN.BMP (СКП)			
	0,06	0,09	0,12	0,15	0,06	0,09	0,12	0,15	0,06	0,09	0,12	0,15
JPEG-DCT	5,2	13,5	21	30	5,2	8	15	23	5,5	11	17,5	26
JPEG-Haar	5	12	19	28	4	7,3	13,5	21	4	10	15,8	24,5
Wav-long	8,6	18	30	42	7,3	11,3	19,5	26	6,6	11,4	18	26
Wav-short	8,2	17	28,5	40	6,9	10,8	18,7	25	6,1	10,6	17,2	24,8
Wav-Haar	7,9	14,8	24	35	5,7	9,8	17,5	23,5	6	10	16,8	24,2
КЛ	7,5	19	27,5	37	6,9	11	16,2	23,2	5,9	9,5	15,8	25

Метод	VOAT.BMP (СКП)				Pechaty.bmp 00011.BMP (СКП)			
	0,06	0,09	0,12	0,15	0,06	0,09	0,12	0,15
JPEG-DCT	5,5	10,7	17,1	24,5	1,1	2	3,5	5,3
JPEG-Haar	4	9,2	15,8	22	1,05	1,8	3	4,3
Wav-long	6,5	11,2	17,8	25,6	2,5	2,9	4,2	5,9
Wav-short	6,1	10,6	17,2	24,8	2,4	2,8	4	5,7
Wav-Haar	5,8	9,8	16,4	23,8	2,4	2,75	3,8	5,5
КЛ	7,3	13	22	33	2,7	4	5,3	7,3

На рис. 4 представлено залежність зміни коефіцієнта стиску від СКП зображення Zelda при використанні досліджуваних перетворень. Вісь СКП розділена на діапазони з оцінкою якості відновлених зображень.

Перевага вейвлет-перетворень перед ДКП і перетворенням Хаара в термінах JPEG-технологій є очевидною і складає 1,4-1,6 рази для однакової якості тестових зображень. У діапазоні з малими помилками всі перетворення мають практично рівні показники. Перетворення Карунена-Лоева при малих значеннях СКП (0,06) на зображенні Zelda.bmp дає істотний вииграш у стиску в порівнянні з JPEG-DCT, потім, зі збільшенням СКП ця ефективність дещо знижується, а на зображенні Cameraman.bmp вона вже і зовсім поступається методі JPEG-DCT. Це перетворення поступається також за ефективністю стиску методі Wav-long для перших трьох класів наведених тестових зображень і всіх значень СКП відновлення. Дисперсійний же критерій оцінки стискаючих властивостей того або іншого перетворення в порівнянні з перетворенням КЛ завжди краще в останнього. Тому кількісні оцінки ефективності розроблювальних алгоритмів кодування реалістичних зображень

рекомендується робити на основі запропонованої узагальненої моделі технологічного середовища стиску даних.

Звертають також на себе увагу результати моделювання процесів стиску ще одного класу зображень – відбитків печаток (Pechaty.bmp), що є вмістом архіву автоматизованої багатофункціональної системи “Кліше”.

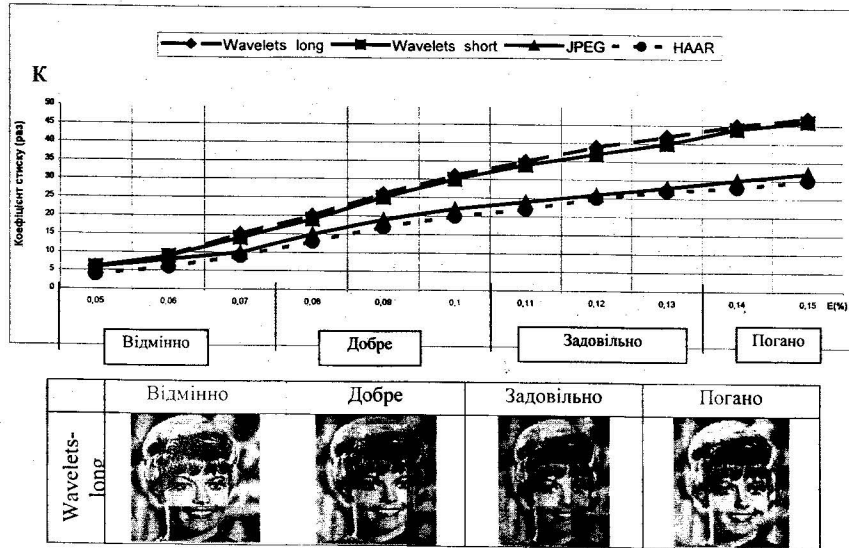


Рис. 4 Залежність коефіцієнта стиску від СКП зображення (Zelda.bmp).

У порівнянні з реалістичними зображеннями максимальний коефіцієнт стиску на цьому класі не перевищує 5,9 разів, а з урахуванням вимоги високої якості збереження зображень у системі він і зовсім зменшується до 2-3 разів при кращих методах. Насиченість і детальність зображень цього класу є дуже високою, що і стримує продуктивність усіх методів стиску.

Також у розділі розглядається контурно-текстурна модель зображень, що найбільш адекватно описує основні властивості реальних зображень на підставі компонент обліку кореляції сусідніх елементів, наявності протяжних областей і контурних перепадів між ними. Для збереження різних особливостей зображення ці компоненти кодуються окремо. Розглядаються питання автоматичної розбивки зображень на змістовно інтерпретувемі області, наводиться формальний опис сегментації зображень на основі моделей вирощування областей і автоматичної класифікації (k-середніх).

У *третьому розділі* проводиться синтез перетворень Хаара для вектора і площини довільної розмірності, розглядаються особливості обчислення сум Хаара у двійковій системі числення.

Система рівнянь для знаходження коефіцієнтів Хаара при числі початкових відліків сигналу $N=4$ має вигляд:

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} &= d_1 & C_1 + C_2 - C_3\sqrt{2} &= d_2 \\ C_1 - C_2 + C_4\sqrt{2} &= d_3 & C_1 - C_2 - C_4\sqrt{2} &= d_4 \end{aligned} \quad (3)$$

де $d_1 \dots d_4$ – значення сигналу в дискретних точках; $C_1 \dots C_4$ – коефіцієнти Хаара.

При додаванні п'ятого відліку сигналу d_5 перше рівняння системи (3) розбивається на два

$$C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} + 2C_5 = d_1 \quad C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} - 2C_5 = d_5 \quad (4)$$

Після нескладних перетворень система (4) зводиться до двох рівнянь з однаковими правими частинами

$$C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} = (d_1 + d_5)/2 \quad C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} = (d_1 + d_5)/2, \quad (5)$$

які можуть бути замінені одним рівнянням, аналогічним першому рівнянню в (3) із правою частиною $d^{(1)}$, рівною $(d_1 + d_5)/2$, тобто знову одержимо систему з чотирьох рівнянь:

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} &= d^{(1)} & C_1 + C_2 - C_3\sqrt{2} &= d_2 \\ C_1 - C_2 + C_4\sqrt{2} &= d_3 & C_1 - C_2 - C_4\sqrt{2} &= d_4 \end{aligned} \quad (6)$$

Рішення системи (6) дозволяє знайти коефіцієнти Хаара у вигляді:

$$\begin{aligned} C_5 &= (d_1 - d_5)/4; C_4 = (d_3 - d_4)/2\sqrt{2}; C_3 = (d_1 + d_5 - 2d_2)/4\sqrt{2}; \\ C_2 &= (d_1 + d_5 + 2(d_2 - d_3 - d_4))/8; C_1 = (d_1 + d_3 + 2(d_2 + d_3 + d_4))/8; \end{aligned} \quad (7)$$

У випадку шести відліків сигналу система також складається з чотирьох рівнянь:

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} &= d^{(1)} & C_1 + C_2 - C_3\sqrt{2} &= d^{(2)} \\ C_1 - C_2 + C_4\sqrt{2} &= d_3 & C_1 - C_2 - C_4\sqrt{2} &= d_4 \end{aligned} \quad (8)$$

де $d^{(1)} = (d_1 + d_3)/2$; $d^{(2)} = (d_1 + d_5)/2$ і т.д., до надходження $2N-1$ -го дискретного значення сигналу.

Уведемо поняття базового вектора даних N^* , який визначимо по відношенню до числа початкових вхідних відліків сигналу N як $N^* = 2^n$, де $n=1,2,\dots,(2^n \leq N)$, причому n повинно давати $\min \lfloor N/2^n \rfloor$; $\lfloor \cdot \rfloor$ – ціла частина. Тоді, у свою чергу, базові вихідні відліки сигналу x^* будуть формуватися з початкових вхідних відліків за правилом $x_p^* = (x_p + x_{N^*+p})/2$, якщо $p=1,2,\dots,(N-N^*)$; $x_p^* = x_p$, якщо $p=(N-N^*+1), (N-N^*+2), \dots, N^*$. Подальший процес обробки містить у собі отримання відповідних сум Хаара у вигляді

$$x_i^n = \sum_{k=2^{i-1}}^{2^i} x_k^{n-1}, \quad (9)$$

де $n=1,2,\dots,(\log N^*-1)$; $i=1,2,\dots,N^*/2^n$; а x_k^0 – базові відліки сигналу x_p^* . Обчисливши (9), визначимо коефіцієнти Хаара

$$C_{mj} = 2^{(m-1)/2} / N^* \left[x_k^{(\log N^*-1)-m^*} - x_{k+1}^{(\log N^*-1)-m^*} \right], \quad (10)$$

де $m=1,2,\dots,\log N$; $j=2^{m-1}$, а для виразу, що стоїть в квадратних дужках, $m^*=m-1$, $k=2^j-1$. З урахуванням прийнятої індексації коефіцієнт C_{01} (вільний член) запишеться у вигляді

$$C_{01} = 1/N * [x_k^{\log N-1} + x_{k+1}^{\log N-1}] \quad (11)$$

Інші коефіцієнти визначаються за формулою $C_{N^{*+i}} = (x_i - x_{N^{*+i}})/N^*$ (12), де $i=1,2,\dots,(N-N^*), x(\cdot)$ – початкові відліки сигналу.

Наведені вирази описують обчислювальні процедури алгоритму швидкого дискретного перетворення Хаара і дозволяють уникнути обмежень, що накладаються на кількість початкових вхідних відліків сигналу, яке може бути як складним, так і простим числом. Кількість операцій типу додавання-вирахування цього алгоритму дорівнює $2(N-1)$, що істотно менше обчислень, необхідних в раніше відомих алгоритмах, коли $N=r_1 r_2 \dots r_n$ і $N=r^n$, $r \geq 3$. Так, при $N=9$ і $N=10$ обсяг обчислень по (9)–(12) складе відповідно 16 і 18 арифметичних операцій, водночас відомі алгоритми потребують 36 і 45 арифметичних операцій.

Проводиться узагальнення отриманих обчислювальних схем одномірного перетворення Хаара на двовимірне. Розглядається також зворотне перетворення Хаара над довільним числом точок, що зводиться до рішення системи рівнянь, у яких С-коефіцієнти, d-вихідні значення сигналу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} + 2C_5 = d_1 \rangle M \\ \langle C_1 + C_2 - C_3\sqrt{2} = d_2 \rangle Y \\ \langle C_1 - C_2 + C_4\sqrt{2} = d_3 \rangle Y \\ \langle C_1 - C_2 - C_4\sqrt{2} = d_4 \rangle M \\ \langle C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} - 2C_5 = d_5 \rangle M \end{array} \right. , \quad \left\{ \begin{array}{l} \langle C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} + 2C_5 = d_1 \rangle M \\ \langle C_1 + C_2 - C_3\sqrt{2} + 2C_6 = d_2 \rangle Y \\ \langle C_1 - C_2 + C_4\sqrt{2} = d_3 \rangle Y \\ \langle C_1 - C_2 - C_4\sqrt{2} = d_4 \rangle M \\ \langle C_1 + C_2 + C_3\sqrt{2} - 2C_5 = d_5 \rangle M \\ \langle C_1 + C_2 - C_3\sqrt{2} - 2C_6 = d_6 \rangle M \end{array} \right. \quad (13)$$

Уведемо поняття першого базового вектора даних N_1^* , який визначимо відносно числа початкових вхідних відліків сигналу N як $N_1^* = 2^n$, де $n=1,2,\dots,(2^n < N)$, причому n повинно давати $\min \Pi(N/2^n)$; $\Pi(\cdot)$ – ціла частина виразу в дужках. Другий базовий вектор, $N_2^* = 2N_1^*$, дорівнює подвоєному значенню першого. В остаточному вигляді формули синтезу вихідних відліків сигналу запишуться як:

$$P_i^j = A_{i+Q} + C_{k+Q}(-1)^{i+1}, \quad k = 2^{(\log N-1)} + 1, \quad (14)$$

а індекси i та j визначають відповідність значень відліків звичайних перетворень (індекс i) і коли число вхідних відліків приймає будь-яке значення (індекс j): $i=2j-1$, де $j=1,2,\dots,k^*$ і $i=2j - N_2^*$, коли $j=(k^*+Y+1),\dots,N$; $j=1,2,\dots,k^*, k^*+Y+1,\dots,N$, а $k^*=M/2$ (для N_2^*) і $j=(k^*+1),\dots,(k^*+Y)$ (для N_1^*); $A_i = C_0 + C_2(-1)^i$, де $i=0,1$; $A_i = A_{k-3} + C_k(-1)^i$, де $i=2,3,\dots,(N-4)$, $k=\Pi((i/2)+2)$; $l=(N/2-2)$; $Q=\Pi((i+1)/2)-1$. (15)

У розділі також розглядається і модифікується метод підсумовування коефіцієнтів Хаара з відповідними знаками на основі аналізу розрядів двійкового запису номера відліку відновлюваних даних, який дозволив

скоротити кількість операцій типу додавання-вирахування до $2(N-1)$ замість $N \log N$ відомого методу.

У четвертому розділі вирішуються задачі, пов'язані з модифікацією методів стиску даних на основі JPEG- і вейвлет-кодування зображень, а також компресії аудіоданих з використанням вейвлет-пакетів. Проводиться оцінка ступеня стиску розроблених методів.

Зазначається, що реалістичні зображення, як правило, нестационарні й мають складну значеннєву структуру, і це ускладнює розробку відповідної адекватної моделі їх опису. Тому доводиться шукати резерви класичних методів обробки, які б враховували як можливості використовуваних перетворень, так і властивості одержувача інформації у вигляді зображень. Один з підходів, що пропонується у цьому розділі, полягає в тому, що якщо у вже класичній схемі JPEG-компресії врахувати кореляцію однойменних коефіцієнтів у всіх фрагментах зображення і провести обробку косинусних коефіцієнтів у бітових площинах представлення даних, то можна дещо підвищити ступінь стиску і відповідно якість оброблених зображень. Статистична близькість однойменних відліків спектра суміжних фрагментів зображення дозволяє одержати послідовність цих відліків більш гладкої форми, а використання бітових площин у представленні даних повинно більш ефективно відбиватися на результатах роботи методів стиску без втрат (блок 6, рис. 1). Подібна модифікація класичної схеми компресії по методу JPEG-технологій дозволяє підвищити ефективність обробки зображень типу портрет (Zelda.bmp) на 14% при задовільній якості ($E=0,12\%$). Зміна коефіцієнту стиску для інших тестових зображень після застосування обробки косинусних коефіцієнтів і коефіцієнтів Хаара у бітових площинах представлені в таблиці 2. Виграш у ступені стиску представлений у процентному відношенні при значенні СКП близької до 12%.

Таблиця 2

Виграш у ступені стиску у відсотках при кодуванні деяких класів зображень запропонованим методом

	Lena.bmp	Cameraman.bmp	Boat.bmp
DCT*-JPEG	13%	15%	16%
Haar*-JPEG	8%	10%	9%

Також розвинуто й модифіковано метод стиску зображень за допомогою багатомасштабної компенсації контурів (Multi Scale Edge Compensation – MSEC), у нашому випадку на основі вейвлет-перетворень з виділенням контурів (ВПВК), що є істотною модернізацією вейвлет-стиску, оснований на швидкому алгоритмі Малла.

Виділення контуру здійснюється в кожному масштабі розкладання зображення за допомогою симетричного низькочастотного фільтра, а тло представлене вейвлет-коефіцієнтами. Аналітично показано, що даний метод у порівнянні зі звичайним вейвлет-перетворенням зображень є більш швидким і

дозволяє одержати вищий коефіцієнт стиску. Запропонований метод на основі ВПВК надає оброблене зображення як адитивну суміш контуру в кожному масштабі і залишкового члена розкладання.

Виділення контуру основане на перетворенні типу гаусіана: $H\{x_{ij}\} = \{\xi_{ij}\}$,

$$\xi_{ij} = \frac{1}{4}(x_{i-1,j} + x_{i+1,j} + x_{i,j-1} + x_{i,j+1}).$$

Перетворення H є симетричним (по координатах i та j) низькочастотним фільтром. Припустимо, що $y_{ij} = x_{ij}$, $z_{ij} = 0$, якщо $|x_{ij} - \xi_{ij}| < \Delta$, і $y_{ij} = \xi_{ij}$, $z_{ij} = x_{ij} - \xi_{ij}$, якщо $|x_{ij} - \xi_{ij}| \geq \Delta$. Початкове зображення $\{x_{ij}\}$ представлено тепер у вигляді суми двох зображень $\{y_{ij}\}$ - гла і $\{z_{ij}\}$ - контуру, $x_{ij} = y_{ij} + z_{ij}$. Число ненульових значень у контурі має складати 3%-5% від числа пікселів у зображенні, це правило легко реалізувати алгоритмічно – шляхом автоматичного визначення параметру Δ окремо на кожному кроці розкладання. При відновленні зображення на кожному етапі потрібно провести зворотне вейвлет-перетворення гла і додати відповідний збережений контур. Запропонований алгоритм розкладання зображень, реалізований у схемі кодування зображень одним фільтром (h) і виділенням контурів у площині вейвлет-коефіцієнтів (ВПВК), схематично представлений на рис. 5.

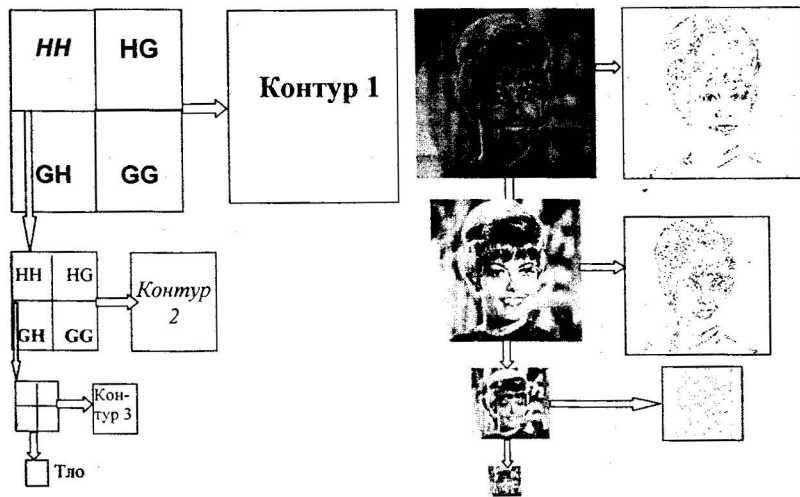


Рис. 5. Структурна схема розкладання зображення з використанням алгоритму ВПВК.

У результаті проведених досліджень були отримані якісні і кількісні оцінки використання алгоритму стиску зображень на основі ВПВК, з яких випливає, що використання алгоритму ВПВК дозволяє зменшити кількість операцій як при розкладанні, так і при відновленні зображень у порівнянні з

алгоритмом вейвлет-аналізу Малла, у якому використано два квадратурних дзеркальних фільтри при розкладанні і при відновленні. Визначено перевагу в ефективності запропонованого алгоритму кодування при незмінному значенні СКП=12%, що забезпечує вираш у коефіцієнті стиску для тестових зображень 11%-13%. У розділі також розроблено методи компресії аудіоданих. Відзначається, що використання вейвлет-перетворень при обробці звукових сигналів досліджено недостатньо. Показано, що ефективність стиску сигналу збільшується, якщо перейти до так званої схеми вейвлет-пакетів. У якості зразків вихідних звукових сигналів використовувалися файли WAV-формату, що містять мовні повідомлення, а також музичні мелодії різного характеру звучання.

На рис. 6 представлено сімейство кривих, що характеризують залежність коефіцієнта стиску мовного сигналу від рівня граничного обмеження N і G масштабів вейвлет-пакетів, для частот дискретизації 8, 11, 22 і 44 кГц.

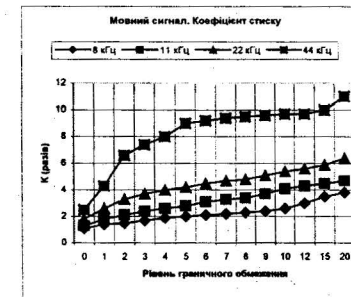


Рис. 6

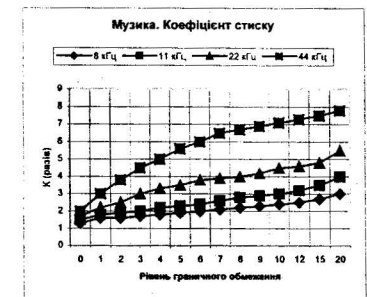


Рис. 7.

Ступінь стиску мовних сигналів, представлених у форматі MP3 для обраних частот дискретизації відповідно дорівнює: 8 кГц = 3,7; 11 кГц = 4,2; 22 кГц = 5,4; 44 кГц = 8,6. Таким чином, при граничному обмеженні коефіцієнтів, який дорівнює 20, ступінь стиску мовного сигналу (K) після вейвлет-обробки перевищує показники формату MP3 на 20%. Середньоквадратичне відхилення (СКВ) початкових і відновленого мовних сигналів, при використанні граничної обробки після вейвлет-перетворення не перевищує 3,5% (для частоти дискретизації 8 кГц), що забезпечує високу якість мови при відтворенні.

На рис. 7 показано аналогічні залежності для сигналів, які відображують музичні композиції різного темпу звучання і частоти дискретизації. Використовувані музичні композиції, у форматі MP3, мають ступінь стиску для відповідних частот дискретизації: 8 кГц = 3,9; 11 кГц = 4,5; 22 кГц = 5,8; 44 кГц = 9,2. Ці значення порівнянні з відповідними показниками, отриманими за допомогою вейвлет-аналізу і граничною обробкою масштабів. Значення СКВ (E) знаходяться в діапазоні 0,5 – 3% для всіх частот дискретизації.

Розроблено перспективний метод стиску даних за допомогою виявлення точок перегину в структурі сигналу, що заснований на рекурсивному виділенні найбільш екстремальних змін амплітудних значень у структурі сигналу і

використання лінійної апроксимації при відновленні проміжних значень оброблюваного повідомлення. Для підвищення ступеня стиску у якості другого етапу компресії використовується алгоритм стиску без втрат.

Проведено узагальнення методів JPEG-кодування для стиску звукових сигналів шляхом можливості використання технологічних основ відомого формату компресії зображень JPEG для обробки аудіоданих. Відображені результати досліджень впливу основних ортогональних перетворень на ступінь стиску аудіосигналів різної структури й інтенсивності. Як ортогональні базиси використовувалися наступні перетворення: перетворення Фур'є; дискретне косінусне перетворення; перетворення Хаара. Для альтернативного порівняння ступеня стиску використовувався відомий формат представлення аудіоданих MP3 (Mpeg Audio Layer3). Для мовних сигналів при малих значеннях частоти дискретизації немає явної переваги в жодного з розглянутих перетворень, а косінусне перетворення має навіть невелику перевагу перед форматом MP3. Для музичних композицій при великих значеннях частоти дискретизації перевагу серед ортогональних перетворень має перетворення Хаара. При збільшенні частоти дискретизації MP3 явно домінує над всіма іншими методами.

У н'ятому розділі вирішуються питання процедурного і структурного моделювання обчислювачів коефіцієнтів Хаара і вейвлет-коефіцієнтів. На основі запропонованої системи характеристик і критеріїв проводиться аналіз

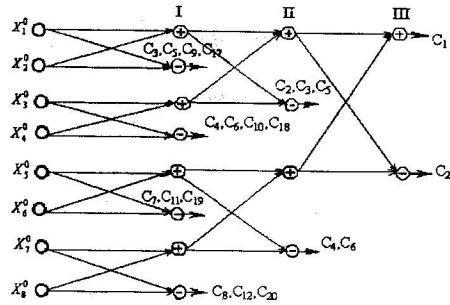


Рис. 8. Просторово-тимчасова структура одержання коефіцієнтів Хаара для N=8.

швидких перетворень Хаара на принципах систолічної архітектури (рис. 8).

Ця архітектура відрізняється локально-зв'язаними структурними примітивами (заштриховані ділянки), що дають високу ступінь однорідності апаратури, модульність та регулярність потоків даних. Показано, що ці структури володіють властивістю наступництва обчислень коефіцієнтів Хаара зверху вниз для різних N без зміни схеми цифрового процесора.

їхньої складності й ефективності для послідовних і рівнобіжних структур. У якості характеристик і критеріїв обрано: однорідність, регулярність, локальність і рекурсивність (систолічна архітектура); продуктивність і обсяг обладнання, надмірність або ефективність процесорного поля; надійність і час, необхідний для проектування.

Для процедурно-структурного моделювання використовуються лінійні рекурентні вирази, отримані в третьому розділі, які дають можливість побудови локально-рекурсивних процесорів

Важливими характеристиками рівнобіжних структур Хаара для цифрової обробки сигналів є продуктивність P , обсяг обладнання Q і питома продуктивність V , які визначимо відповідно, як: $P = \frac{2(N-1)}{\log_2 N}$; $Q = 2(N-1)$;

$V = \frac{P}{Q}$. Питома продуктивність поряд із продуктивністю P можна

використовувати як важливий критерій порівняння структур Хаара з паралельною і послідовною архітектурою.

З рис. 8 випливає, що на першому такті обчислення коефіцієнтів Хаара працюють лише процесори першого ярусу, на другому – лише друга лінійка (другий ярус) і так далі. Тому доцільним у практичному відношенні бачиться

таке поняття, як "ефективність процесорного поля" E : $E = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q n_i$, де n_i – число

процесорних елементів (ПЕ), яке необхідне для реалізації паралелізму в такті i , q – число тактів виконання паралельного алгоритму, що дорівнює $\log_2 N$. Величина E – середнє завантаження процесорних елементів (ПЕ) при виконанні конкретного паралельного алгоритму. Для уточнення цього поняття вводимо характеристику "надмірність структури" або "коефіцієнт завантаження обладнання" R , що показує відношення сумарного числа працюючих процесорів M до числа непрацюючих M^* при кожному такті рішення задачі й у цілому після її завершення:

$$M_i = \sum_{i=1}^{\log_2 N} \frac{N}{2^{i-1}}; M_i^* = \sum_{i=1}^{\log_2 N} [2(N-1) - 2^i]; R_i = \left(\sum_{i=\log_2 N}^1 2^i \right) / \sum_{i=1}^{\log_2 N} [2(N-1) - 2^i],$$

де i у чисельнику формули для R_i міняється від $\log_2 N$ до 1 із кроком мінус одиниця.

Для різних N побудовані таблиці значень коефіцієнтів R , M і M^* і проведено їх порівняльний аналіз, який показує дуже низький коефіцієнт завантаження обладнання в паралельних структурах Хаара незалежно від

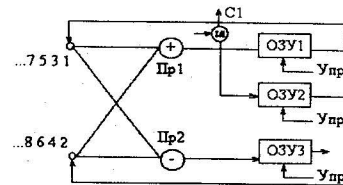


Рис. 9. Базова структура побудови безнадлишкових схем Хаара.

довжини оброблюваної реалізації. Тому запропоновані базові паралельно-послідовні структури, що дають можливість синтезу схем швидких перетворень Хаара з високим коефіцієнтом завантаження обладнання при будь-якому значенні N довжини оброблюваної реалізації сигналу шляхом нарощування елементарних базових структур та їх з'єднуванням. На рис. 9 зображена така базова структура (модуль) із зазначенням необхідної послідовності надходження відповідних номерів відліків сигналу на входи відповідних процесорів. У разі з'єднання двох базових модулів утворюється

чотирипроцесорна структура, чотирьох базових модулів – восьмипроцесорна структура і т.д. Проведено аналіз ефективності запропонованого підходу для двох-, чотирьох- і восьмипроцесорних структур у порівнянні з паралельними структурами на підставі визначених здобувачем характеристик і критеріїв. Побудовано сімейства графіків для відповідних структур Хаара (рис. 10), які дозволяють судити про ефективність тієї або іншої схеми. Тут $\lambda = T_{\text{посл}} / T_{\text{пар}}$ (прискорення), $\alpha = Q_{\text{пар}} / Q_{\text{посл}}$ (коефіцієнт виграшу або програшу в обладнанні), T – кількість тактів роботи послідовної і паралельної структури.

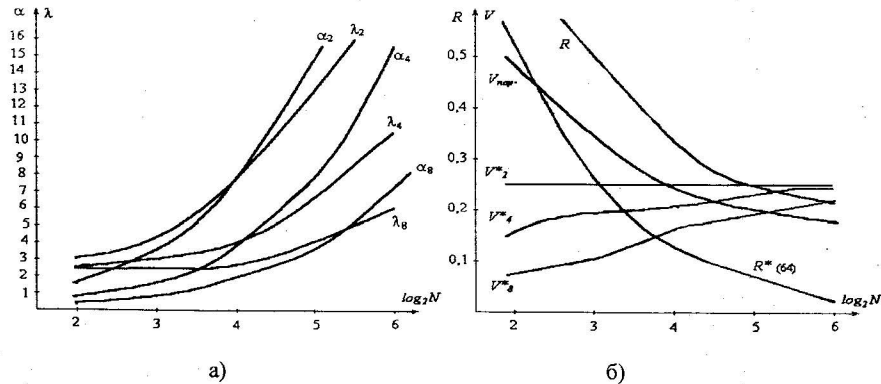


Рис. 10 Характеристики рівнобіжних і послідовних структур Хаара.

На практиці методи обробки даних з використанням вейвлет-аналізу спираються на швидкі алгоритми, запропоновані Малла. В обчислювальному аспекті ці алгоритми зводяться до обчислення параметрів двох пар квадратурних дзеркальних фільтрів, які мають бути максимально симетричними і гладкими. На основі аналітичного опису вейвлет-перетворень і запропонованої в розділі методики і критеріїв розроблено різні варіанти вейвлет-структур та проведено їх порівняльний аналіз.

На рис. 11 зображено послідовну структуру обчислення вейвлет-коефіцієнтів, яка здійснює обчислення W-коефіцієнтів з використанням фільтрів (h і g) з наступним їх збереженням у відповідних ОЗП.

Умовно-послідовну структуру представлено на рис. 12. Така структура відрізняється від послідовної схеми тим, що обчислення k-го W-коефіцієнта відбувається паралельно по всьому набору відліків розкладаючого H або відновлюючого G фільтра. Але при цьому послідовно обчислюються спочатку одна група W-коефіцієнтів (Wh або Wg) із застосуванням відповідного фільтра (H або G), а потім інша. Далі аналогічно послідовній структурі робиться запис W-коефіцієнтів у відповідні ОЗП й обчислення W-коефіцієнтів наступного ярусу розкладання сигналу.

Запропоновано також базова двопроцесорну структуру побудови безнадлишкових обчислювачів W-коефіцієнтів. Отримано чисельні значення основних характеристик вейвлет-структур згідно з цими значеннями побудовано сімейства графіків, які дозволяють судити про ефективність тієї або іншої структури. Оцінку питомої продуктивності V наведено на рис. 13.

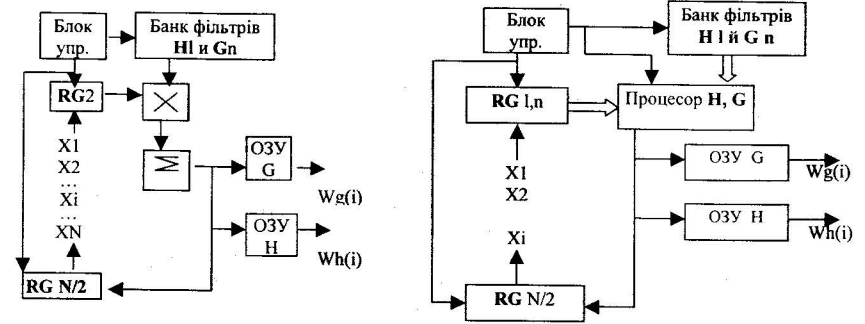


Рис. 11. Послідовна структура вейвлет-перетворень. Рис. 12. Умовно-послідовна структура процесорів W-перетворень.

Поводження кривих наочно ілюструє, що питома продуктивність рівнобіжної структури $V_{\text{пар}}$ знижується при збільшенні довжини оброблюваної вибірки. Це визначається високою надмірністю і низьким коефіцієнтом завантаження обладнання. Питома продуктивність усіх квазіпослідовних структур ($V_{\text{уп}}$, V_2 , V_4 , V_8) з ростом N зростає крім послідовної, питома продуктивність якої є величина постійна ($V_{\text{посл}}=0,25$) завдяки тому, що відношення кількості операцій до кількості тактів не залежить від тривалості оброблюваної вибірки ($P_{\text{посл}}=\text{const}$), а кількість обладнання $Q_{\text{посл}}$ також є постійною і не залежить від N .

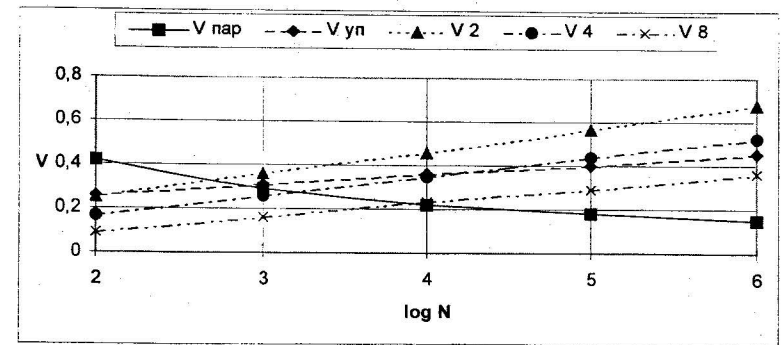


Рис. 13. Питома продуктивність паралельних і послідовних структур.

Отримані результати і висновки дозволяють на практиці будувати різні архітектури процесорів Хаара і вейвлет-перетворень сигналів, ставлячи у главу кута їх ефективність за тими або іншими критеріями. Наведена методика побудови й аналізу структур вейвлет-процесорів також може бути використана для різних конфігурацій розкладаючих і відновлюючих фільтрів.

У шостому розділі розроблено методи стиску зображень на основі моделей виділення і кодування областей довільної форми. Ці методи належать до другого покоління і представляють зображення в термінах текстурних областей, оточених контурами. Пропонований у роботі метод контурно-текстурного кодування зображень на основі вирощування областей, який базується на ідеях М. Кунта, А. Ікономопулоса і М. Кошера і спрощено для монохроматичних зображень полягає в наступному. Задавши параметром $\Delta > 0$, вибираємо будь-який елемент зображення (піксель). Якщо сусідні елементи за яскравістю відрізняються менш ніж на Δ , поєднуємо їх з даним елементом в одну область і розглядаємо наступні сусідні елементи. Коли більше не залишається суміжних з даною областю елементів, які задовольняють зазначеній умові з параметром Δ , процедура зупиняється і починається знову з будь-якого іншого елемента зображення, не включеного в першу область. Сегментація закінчується тоді, коли кожен елемент зображення приєднано до відповідної області. Ця процедура поділяє зображення на безліч суміжних областей, зміни рівня сірого всередині яких не мають різких розривів, тобто контурів. Для кодування зображення створюється бітова карта границь областей і для кожної області записується середнє значення рівня яскравості всіх її елементів. Отримані дані кодується без втрат за стандартом JBIG-1. Отримано залежності коефіцієнта стиску від СКВ, які показують, що характеристики кодування тестових зображень за допомогою методу вирощування областей близькі до відповідних показників при кодуванні цих зображень методом JPEG-компресії. Перевага починає виявлятися тільки при досить великих значеннях СКВ ($>13\%$), коли кількість областей, на які сегментовано зображення, стає малою. Відновлені зображення в таких випадках мають істотні перекручування, що виявляються по різному. У JPEG-кодованих зображеннях помітна структура сегментів і помітний ефект Гібса, при кодуванні вирощуванням областей виявляється груба мозаїчна структура, що також погіршує якість зображень.

Розроблено метод стиску зображень на основі автоматичної класифікації фрагментів. Він базується на відомому алгоритмі k -середніх. Для стиску зображень алгоритм k -середніх використовується в наступний спосіб. Зображення розбивається на однакові, наприклад, квадратні елементи з розміром сторони m пікселів. Яскравості пікселів кожного елемента складають m^2 -мірний вектор. До сукупності всіх елементів застосовується алгоритм k -середніх, що приводить до розбивки зображення на k областей S_1, \dots, S_k , кожна з яких складається з майже однакових елементів. Для кодування зображення потрібно скласти карту регіонів, що визначає розміщення областей, і для кожної області вказати її представника, тобто вказати центри класів e_1, \dots, e_k .

Алгоритм k -середніх доповнений процедурою попереднього "просівання" елементів для визначення центрів класу, яка збільшує імовірність того, що алгоритм k -середніх дасть абсолютний, а не локальний мінімум функціонала мінімізації внутрішньокласових дисперсій. Крім того попереднє застосування методу просівання значно поліпшує збіжність алгоритму k -середніх і, отже, скорочує обчислювальний час.

На рис. 14 представлені відновлене зображення zelda.bmp при $m = 4$ і $k = 80$, а також розподіл кількості елементів по класах.

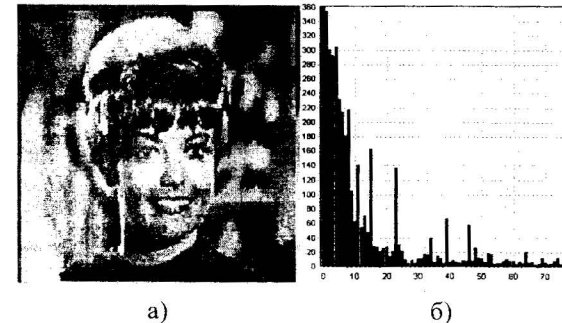


Рис. 14. Автоматична класифікація. Відновлене зображення zelda.bmp при $m = 4$ і $k = 80$ а), а також розподіл кількості елементів по класах б).

кращий стиск і в областях з високим СКВ.

Характеристики стиску зображень на основі автоматичної класифікації істотно поліпшуються, якщо перед класифікацією застосовується декорелююче перетворення – дискретне косінусне перетворення Фур'є або перетворення Хаара. На сильнонасиченому деталями класі зображень типу "Печатка" метод стиску на основі автоматичної класифікації є дуже ефективним і досягає значень коефіцієнта стиску близько 19,8 разів, що істотно вище результатів кодування в стандартах JPEG і JPEG2000, що дають стиск у 2-4 рази при тій самій якості відновленого зображення.

Розроблено й досліджено метод стиску зображень на основі нечіткої класифікації фрагментів. Для стиску зображень цей алгоритм застосовується так само, як і алгоритм k -середніх, включаючи використання методу просівання для поліпшення збіжності. Перехід від нечіткої класифікації до звичайної розбивки на класи здійснюється в такий спосіб: кожен елемент приписується тому класові, коефіцієнт приналежності до якого для цього елемента є найбільшим.

На рис. 15 представлено відновлене зображення zelda.bmp при $m = 4$ і $k = 80$, а також розподіл кількості елементів по класах.

Важлива відмінність у результатах кодування полягає в тому, що при нечіткій класифікації розподіл числа елементів по класах значно рівномірніше. Це дає більш комфортне візуальне сприйняття відновленого зображення,

особливо при малому числі класів. Тому цей алгоритм також рекомендований у роботі для кодування фонових текстур з високим коефіцієнтом стиску.

Результати комп'ютерної обробки показали, що в області малих СКВ

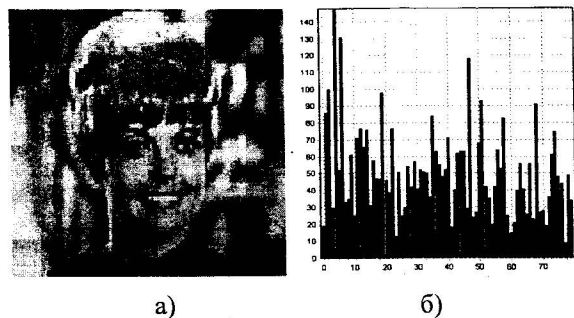


Рис. 15. Нечітка класифікація. Відновлене зображення zelda.bmp при $m = 4$ й $k = 80$ а), і відповідний розподіл кількості елементів по класах б).

ефективність кодування практично збігається з методом чіткої автоматичної класифікації. В області високих СКВ помітну перевагу має метод нечіткої класифікації, який досягає значення коефіцієнта стиску більш 50, що в процентному відношенні складає близько 25%. Недоліком методу нечіткої класифікації (с-середніх) є великий обсяг обчислень у порівнянні з алгоритмом к-середніх, причому це розходження швидко зростає зі збільшенням числа класів і може досягати декількох порядків. У випадку контрастних зображень, наприклад, зображення відбитка печатки особливості розподілу кількості елементів по класах при нечіткій класифікації відіграють негативну роль і в кількісному вираженні складають: для нечіткої класифікації стиск – 13,7 разів, час класифікації – 3 сек.; для автоматичної класифікації – відповідно 19,8 разів і 0,04 сек.

Розроблений і досліджений метод скорочення змістовної надмірності зображень на основі класифікації об'єкта і тла, що полягає в поділі елементів зображення на два класи (об'єкт і тло) за допомогою вейвлет-перетворення і



Рис. 16. Вихідне зображення і результат одного кроку розкладання по біортогональному вейвлет-базису зображення Zelda.bmp.

виділення інформативних точок у просторі коефіцієнтів високочастотних областей багатомасштабного аналізу і побудові бітової площини, яка містить інформацію про розташування об'єкта і тла. Алгоритм дозволяє виділяти інформативні області реалістичних зображень, що не мають рівномірного розподілу яскравості і (або) замкнутих границь. У результаті одного етапу вейвлет-розкладання виходить чотири зображення з тією ж сумарною кількістю пікселів, що й у вихідного зображення (див. рис. 16).

Зображення GH містить горизонтальні високочастотні складові, які виявляють горизонтальні перепади яскравості. Відповідно зображення HG містить вертикальні високочастотні складові. Напівсума яскравостей цих зображень формує результуюче зображення, у якому присутні як горизонтальні, так і вертикальні перепади яскравості.

Застосування граничної обробки до цього зображення дозволяє одержати сукупність точок (інформативних), між якими значення різниці яскравості перевищують граничне значення. Граничне значення прив'язувалося до середнього значення яскравості X_{cp} на всій площині усередненого зображення і вибиралося таким чином, щоб виключити наявність випадкових точок, тобто тих точок, що не мають у своєму найближчому оточенні собі подібних.

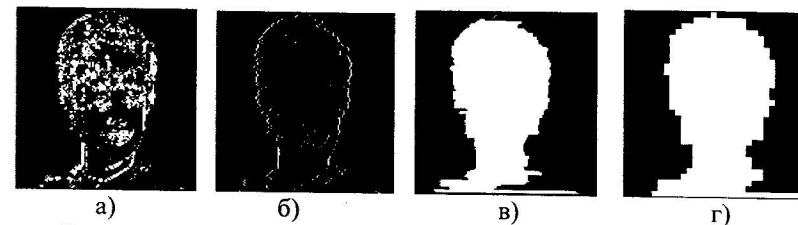


Рис. 17. а) Сукупність точок, що перевищили різницевий поріг; б) граничні точки поділу об'єкта і тла; в) бітова площина поділу; г) бітова площина після сегментації на фрагменти 8x8.

У такий спосіб робиться фільтрація одиночних точок, що перевищили граничне значення (рис. 17 а)). Потім для відділення об'єкта (інформативних точок) від тла (класифікації) робиться послідовне сканування зображення по рядках і стовпцях до виявлення першої й останньої не нульової точки. Після поділу зображення на області об'єкта і тла необхідно створити безперервну і замкнуту границю між цими областями (рис. 17 б)). Після з'єднання граничних точок між собою одержимо бітову площину, яка поділяє об'єкт і тло, рис. 17 в)). Побудова бітової площини є завершальним етапом виділення об'єкта на площині зображення. Точки усередині контуру вважаються приналежними об'єктові і їм привласнюється значення 1, точки, що лежать поза контуром, вважаються тлом і їм привласнюється значення 0, рис. 17 в)).

Подальша обробка виділених областей здійснюється з різним ступенем якості за допомогою JPEG-технологій на базі дискретного косинусного перетворення, а також за допомогою багатомасштабного вейвлет-аналізу, що дозволяє у залежності від типу зображення підвищити ефективність кодування у класичній схемі JPEG-компресії на 9 %-28 % і на 9 %-33 % при використанні вейвлет-методів.

Запропонований підхід (JPEG-об'єкт) дозволив також виявити резерви класичної схеми JPEG-кодування й одержати близькі кількісні характеристики в порівнянні з вейвлет-кодуванням, що в цілому створює передумови для формування нових технологій стиску зображень на основі об'єднання

узагальнених Фур'є- та вейвлет-методів обробки сигналів, теорії інформації та методів розпізнавання образів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі здійснено теоретичне узагальнення і отримано вирішення важливої науково-практичної проблеми – підвищення ефективності кодування і стиску даних різної фізичної природи на основі розробки теоретичних основ, моделей і обґрунтованих інформаційних технологій скорочення статистичної, структурної, психофізичної і змістовної надмірності повідомлень за допомогою об'єднання і комбінування незалежних методів стиску даних і методів розпізнавання образів.

Основні результати та висновки роботи полягають у наступному:

1. На основі проведеного детального і системного аналізу побудовано перспективну класифікацію методів стиску даних, що дозволила виявити проблемні питання в цій предметній області і визначити напрямки подальших досліджень. Обґрунтовані та одержали подальший розвиток інформаційні технології кодування зображень завдяки запропонованій і дослідженій ефективній узагальненій моделі технологічного середовища стиску даних на основі агрегативно-комбінаторного підходу, який об'єднав незалежні методи скорочення надмірності і методи розпізнавання образів і містить у собі декомпозиційні складові на основі моделей розкладання сигналів в узагальнені ряди Фур'є, вейвлет-аналізу і контурно-текстурної моделі шляхом групування даних, що дозволило розглянути і застосувати ці методи з єдиних системних позицій і вирішити задачі економного опису повідомлень.

2. На основі узагальненої моделі виявлено, що у випадку квантованих коефіцієнтів перетворень, які розглядаються, перевага вейвлет-перетворень перед ДКП та перетворенням Хаара в термінах JPEG-технологій на зображенні Zelda є очевидною і складає 1,4-1,6 рази при тій самій якості, що і для інших тестових зображень. У діапазоні малих помилок (3 %) усі перетворення мають практично рівні показники ефективності стиску. Перетворення КЛ за малими значеннями СКП (6 %) на зображенні Zelda.bmp дає істотний вигравш у стиску в порівнянні з JPEG-DCT, далі зі зростанням СКП ця ефективність знижується, а на зображенні Cameraman.bmp вона вже і зовсім уступає методу JPEG-DCT. Перетворення КЛ поступається також за ефективністю стиску методу на основі вейвлет-перетворень (Wav-long) для трьох класів використаних тестових зображень (Zelda, Lena, Cameraman) та усіх значеннях СКП відновлення.

3. Розроблено обчислювальні схеми швидких узагальнених перетворень Хаара для довільного числа точок в одному і двох вимірах, які дозволяють зняти деякі обмеження на класичні схеми аналізу і синтезу в цьому базисі, а також модифіковані і поліпшені обчислювальні властивості методу підсумовування рядів Хаара в двійковій системі числення. Отримані вирази характеризуються однотипністю процедур, легко програмуються, і найбільш

прийнятні для розробки обчислювальних засобів з різним рівнем паралелізму обчислювального процесу.

4. Отримав розвиток й реалізовано метод стиску зображень на основі моделі виділення і компенсації контурів при вейвлет-перетворенні, що дозволяє одночасно скоротити обсяг обчислень і на 6 %-13 % підвищити ступінь стиску в порівнянні зі звичайним вейвлет-кодуванням, а також модифіковані й одержали подальший розвиток методи JPEG-кодування зображень шляхом додавання процедури обліку міжблочної кореляції коефіцієнтів косінусного перетворення і властивостей їхніх бітових площин, що дало можливість на 10 %-12 % підвищити ефективність кодування зображень зі збереженням заданої якості ($E \leq 12\%$).

5. Отримав подальший розвиток метод кодування мультимедійних даних на основі узагальнення форматів JPEG-технологій і вейвлет-перетворень для стиску звукових сигналів, а також метод стиску на основі поетапного виділення екстремальних точок в структурі сигналу, що дало можливість підвищити ефективність кодування мовної інформації у порівнянні з форматом MP3 для початкового сигналу високої якості.

6. Удосконалено процедурно-структурні методи побудови і критерії оцінки ефективності і складності рівнобіжних і послідовних структур обчислювачів трансформант Хаара і вейвлет-коефіцієнтів, які дозволяють вибирати оптимальні схемні рішення при заданих обмеженнях на обсяг обчислень або кількість технологічних модулів.

7. У рамках JPEG-технологій запропоновано метод стиску на основі класичної і нечіткої моделей побудови однорідних, по обраній системі ознак, ділянок зображень (автоматичної і нечіткої класифікації), який дозволяє розширити й об'єднати функціональні можливості методів кодування і розпізнавання зображень. Це дало можливість істотно (у 4-5 разів) зменшити обсяг даних для сильнонасичених детальних зображень, наприклад, відбитків печаток зі збереженням заданої якості в порівнянні з відомими методами на основі вейвлет-перетворень.

8. Запропоновано метод скорочення змістовної надмірності реалістичних зображень на основі класифікації об'єкта і тла за допомогою вейвлет-перетворення і виділення інформативних точок у просторі коефіцієнтів високочастотних областей багатомасштабного аналізу з наступною побудовою бітової площини, яка утримує інформацію про розташування об'єкта і тла. Подальша обробка виділених областей здійснюється з різним ступенем якості за допомогою JPEG-технологій на базі дискретного косінусного перетворення, а також за допомогою багатомасштабного вейвлет-аналізу, що дозволило в залежності від типу зображення підвищити ефективність кодування на 9 %-28 % у порівнянні з класичною схемою JPEG-компресії і на 9 %-33 % – при використанні вейвлет-методів. Запропонований підхід (JPEG-об'єкт) дозволив виявити резерви стандартної схеми JPEG-кодування на основі косінусного перетворення й одержати близькі кількісні характеристики в порівнянні з вейвлет-кодуванням, що в цілому створює передумови для формування нових

технологій стиску зображень на основі об'єднання узагальнених Фур'є і вейвлет-методів обробки сигналів, теорії інформації та методів розпізнавання образів.

9. Результати дисертації впроваджені у вигляді моделей, методів, алгоритмів і пакетів прикладних програм при рішенні задач ефективного кодування та багатofункціональної обробки мультимедійних даних на підприємствах: Центр радіофізичного зондування землі ім. О.І. Калмикова НАН і НКА України, Науково-виробниче підприємство "Хартрон-Аркас", Державне науково-виробниче підприємство "Об'єднання Комунар", Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса, Інститут вивчення проблем злочинності Академії правових наук України, кафедра криміналістики Національної юридичної академії України імені Ярослава Мудрого.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Соболев Ю.В., Поляков П.Ф., Затучный С.С., Иванов В.Г. Обобщенный анализатор спектра информационно-управляющих систем // Автоматизированные информационные системы на железнодорожных станциях - Днепропетровский ин-т. инженеров ж.-д. трансп., 1986. - С. 92-98. (підписано до друку 27.11.1986).

Здобувач запропонував методику стиску даних на основі узагальнених ортогональних Фур'є-перетворень.

2. Затучный С.С., Иванов В.Г. Об одном подходе к повышению эффективности систем управления и обработки данных // Цифровые устройства и микропроцессоры в системах передачи информации. - Харьков: Харьк. ин-т инженеров ж.-д. трансп., 1987. - С. 80-83.

Запропоновані принципи та формальні процедури підвищення ефективності систем управління та обробки даних.

3. Иванов В.Г. Преобразование Хаара для произвольного числа точек // Известия Высших учебных заведений. Радиоэлектроника. - Київ: НТУУ "КП", 1989. - № 7. - С. 41-45.

4. Иванов В.Г. Кодирование данных в системе функций Хаара // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ, 1999. - Вып. 72. - С. 94-96.

5. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В. Сжатие данных на основе вычислений точек перегиба в структуре сигнала // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ, 2000. - Вып. 94. - С. 25-29.

Здобувач запропонував методику стиску даних на основі поетапного виділення точок перегину в структурі сигналу і наступному використанні лінійної апроксимації при відновленні.

6. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В. Новый формат хранения и передачи мультимедийных данных // Автоматизированные системы управления и

приборы автоматизации. - Харьков: Харьк. державний технічний ун-т. радіоелектроніки, 2000. - Вып. 113. - С. 24-29.

Здобувач запропонував структуру формату представлення аудіо даних для алгоритму стиску на основі виділення точок перегину.

7. Иванов В.Г. Кодирование и поиск изображений в криминалистических информационных системах // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ, 2000. - Вып. 99. - С. 64-66.

8. Иванов В.Г. Технологии кодирования сигналов различной физической природы // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ, 2000. - Вып. 121. - С. 66-69.

9. Иванов В.Г. Синтез сигналов рядами Хаара произвольной размерности // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. - Київ, 2001. - Т. 44, № 4. - С. 70-73

10. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В. Многоэтапный алгоритм сжатия мультимедийных данных // Радиоэлектроника и информатика. - Харьков: Харьк. держ. технічний ун-т. радіоелектроніки, 2000. - Вып. 4 (13). - С. 87-89.

Здобувач запропонував методику порівняльного аналізу показників якості деяких алгоритмів стиску звукової інформації при різних значеннях частоти дискретизації вхідних даних.

11. Иванов В.Г. Универсальные технологии сжатия данных // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харьков: НТУ "ХП", 2001. - № 8. - С. 35 - 37.

12. Иванов В.Г. Агрегативные технологии информационных коллекторов // Труды Одесского государственного политехнического университета. - Одесса: Одесский национальный политехнический ун-т, 2001. - Вып. 4 (16). - С. 168-170.

13. Иванов В.Г. Несимметричные алгоритмы получения данных в системе Хаара // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харьков: НТУ "ХП", 2002. - Т. 6, № 9, - С. 10-12.

14. Иванов В.Г., Карасюк В.В., Ломоносов Ю.В. Построение многофункциональных информационно-аналитических коллекторов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. - Харьков: Нац. аерокосмічний ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2002. - Вып. 29. - С. 114-119.

Здобувач сформулював і обґрунтував основні принципи побудови автоматизованих електронних баз даних (інформаційно-аналітичних колекторів), що поєднують у собі поряд із традиційними текстовими документами ще і статичні зображення.

15. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В. Інформаційно-криміналістичний колектор збереження, пошуку та обробки даних // Збірник наукових праць Національної академії прикордонних військ України імені Богдана Хмельницького. - Хмельницький: Вид-во Національної академії ПВУ, 2002. - Вып. 22. Частина II. - С. 242-247.

Здобувачем науково обґрунтована і запропонована комплексна технологія побудови інформаційно-криміналістичних архівів на основі

програмного середовища створення і управління компресованими неструктурованими даними (зображеннями).

16. Иванов В.Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара // Проблемы управления и информатики. – Київ, 2003. – № 5, – С. 68-75

17. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Применение вейвлет-анализа к сжатию звуковых сигналов // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – Т. 1, №7, – С. 39-50.

Здобувачем здійснені загальна постановка і запропонована методологія вирішення задачі компактного представлення (стиску) мовних і аудіо сигналів на основі властивостей вейвлет-перетворень.

18. Иванов В.Г. Метод вычисления ошибки сжатия данных в системе Хаара // Вісник Харківського Національного університету. Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – Харків: Харк. Нац. ун-т., 2003. – № 605, Вип. 2. – С. 43-47.

19. Иванов В.Г. Процедурные и структурные методы моделирования вычислителей спектра Хаара // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – № 18. – С. 85-91.

20. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В. Структуры процессоров вейвлет-преобразований сигналов // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – № 18. – С. 29-38.

Здобувачем здійснена загальна постановка і запропонована методологія вирішення задач побудови й оцінки ефективності рівнобіжних і послідовних структур процесорів для вейвлет-перетворень сигналів.

21. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Фурье и вейвлет анализ изображений в плоскости JPEG технологий // Проблемы управления и информатики. – Київ, 2004. – № 5. – С. 111-124.

Здобувач виклав загальний підхід до кодування зображень на основі заміни їх коефіцієнтами узагальненого ряду Фур'є і вейвлет-перетворення з урахуванням ефективності кожного етапу створення JPEG-архіву.

22. Иванов В.Г., Червенко С.А. Кодирование данных по системе Хаара в нейросетевой среде // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”, 2004. – № 4(8). – С. 105-109.

Здобувач запропонував методику кодування даних коефіцієнтами Хаара з використанням нейросітєвої середовища.

23. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Шишков К.С. Сжатие изображений на основе выраживания и кодирования областей // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – № 18. – С. 89-96.

Здобувач запропонував модель стиску на основі опису зображень у термінах контуру і текстури. Запропонував і реалізував алгоритми кодування реалістичних зображень на основі вирощування і кодування областей.

24. Иванов В.Г., Король Э.Н. Повышение быстродействия вычислительной системы на основе методов сжатия данных // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – №19. – С. 27-30.

Здобувач запропонував методику підвищення швидкодії обчислювальних систем за рахунок збереження і обробки структур стиснутих даних.

25. Иванов В.Г. Параллельные и последовательные структуры Хаара для цифровой обработки сигналов // Электронное моделирование. – Київ, 2005. – № 3. – С.55-66.

26. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Сжатие изображений на основе компенсации контуров при вейвлет преобразовании // Проблемы управления и информатики. – Київ, 2006. – № 3. – С. 89-102.

Здобувачем поставлена загальна задача стиснутого опису зображень на основі двомасштабної моделі і запропонована формальна її реалізація за допомогою виділення і компенсації контурів при вейвлет-перетворенні.

27. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В. Обобщение JPEG-формата для кодирования мультимедийных данных // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006. – № 23. – С. 75-79.

Здобувач запропонував методику узагальнення JPEG-формату для кодування мультимедійних даних і порівняльного аналізу показників якості деяких алгоритмів стиску звукової інформації при різних значеннях частоти дискретизації вхідних даних.

28. Иванов В.Г., Радивоненко О.С. Комбинированный подход к кодированию изображений на основе нечеткой классификации фрагментов // Технологии и конструирование в электронной аппаратуре. – Одесса, 2006. – № 6 (66). – С. 26-29.

У роботі здобувачем здійснені постановка і запропоновані методи вирішення задачі кодування зображень на основі комбінаторного підходу з використанням нечіткої класифікації фрагментів і узагальнених перетворень Фур'є.

29. Иванов В.Г. Преобразования Хаара в двоичной системе счисления и на плоскости произвольной размерности // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006. – № 40. – С.101-106.

30. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Сокращение содержательной избыточности изображений на основе классификации объектов и фона // Проблемы управления и информатики. – Київ, 2007. – № 3. – С. 93-102.

Здобувачем здійснені постановка і формальний опис задачі виділення на зображенні об'єкта і тла з метою кодування їх з різною візуальною якістю.

31. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. JPEG и вейвлет-компрессия объекта и фона изображения с различной степенью качества // Вісник

Национального технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2007. – № 49. – С.94-105.

Здобувач здійснив загальну постановку і дав формальний опис процесу стиску зображення на основі поділу зображень на об'єкти і тло.

32. Устройство для вычисления коэффициентов Хаара: А.с. 1343423 СССР. МКИ G 06 F 15/332 / Ю.В. Соболев, Г.Е. Климов, А.И. Фертель, П.Ф. Поляков, О.С. Попов, В.Г. Иванов (СССР) - № 4013762/24-24; Заявл. 10.12.1985; Опубл. 07.10.1987, Бюл. № 37. – 3 с.: ил. 1.

Здобувач запропонував ідею і реалізацію пристрою для обчислення коефіцієнтів Хаара.

33. Иванов В.Г. Персональная система визуализации и обработки термоизображений // Тезисы докладов I Всесоюзной конференции "Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии (РОАИ-91)". – Минск: Ин-т техн. кибер. АН БССР, 1991. – Ч. 4. – С. 70-73.

34. Ivanov V.G. Data compression in the class of the orthogonal transformation // The 10th ISPE/IFAC International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future (CARs & FOF'94) – Ottawa (Canada): OCRI, 1994. – pp. 882-884.

35. Иванов В.Г. Базисно-ограниченные преобразования Фурье речевых сигналов // Тези доповідей 4-ої Української конференції з автоматичного управління "Автоматика-97". – Черкаси: ЧПТ, 1997. – Том III. – С. 114.

36. Иванов В.Г. Структуры обработки данных в системе Хаара // Материалы 11-ої міжнародної конференції по автоматичному управлінню "Автоматика-2004". – Київ: Націон. універс. пищевых технологий, 2004. – Т. 6. – С. 49.

37. Иванов В.Г. Кодирование изображений на основе автоматической классификации и позиционирования фрагментов // Материалы 12-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління "Автоматика-2005". – Харків: НТУ "ХПІ", 2005. – Т. 3. – С. 80-81.

38. Иванов В.Г., Радивоненко О.С. Кодирование изображений на основе нечеткой классификации фрагментов // Труды Седьмой Международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии" (СИЭТ – 2006) – Одесса, 2006. – С. 45.

Здобувачем здійснені постановка і запропоновані методи рішення задачі кодування зображень на основі комбінаторного підходу з використанням нечіткої класифікації фрагментів і узагальнених перетворень Фур'є.

39. Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г. Сжатие изображений на основе выделения и кодирования объектов с различным визуальным качеством // Праці Восьмої Всеукраїнської міжнародної конференції "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів" (УкрОБРАЗ'2006). – Київ: Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, 2006. – С. 159-163.

Здобувачем здійснені постановка і формальний опис задачі виділення на зображенні об'єкта і тла з метою кодування їх з різною візуальною якістю.

40. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Сокращение содержательной избыточности изображений // Труды Восьмой Международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии" (СИЭТ – 2007). – Одесса, 2007. – С. 51.

Здобувачем здійснені постановка і формальний опис рішення задачі скорочення змістовної надмірності деяких класів реалістичних зображень.

АНОТАЦІЇ

Іванов В.Г. Моделі, методи й інформаційні технології агрегативного кодування і стиску мультимедійних даних. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків 2007.

У дисертації розглядається важлива науково-практична проблема підвищення ефективності стиску даних у мультимедійних архітектурах і мережних інформаційних системах, яка вирішується за допомогою розроблених і досліджених у дисертації теоретичних основ, моделей і обґрунтованих інформаційних технологій скорочення статистичної, структурної, психофізичної і змістовної надмірності повідомлень на основі об'єднання і комбінування незалежних методів стиску даних і методів розпізнавання образів, що дозволяє застосувати ці методи з єдиних системних позицій і вирішити задачі економного опису повідомлень. Запропоновано й досліджено узагальнену модель технологічного середовища стиску мультимедійних даних, яка містить у собі декомпозиційні складові на основі моделей розкладання сигналів в узагальнені ряди Фур'є, вейвлет-аналізу і контурно-текстурної моделі шляхом групування даних, що дозволяє не тільки оптимізувати і виявити резерви діючих JPEG-форматів стиску зображень, а й запропонувати нові підходи на основі методів автоматичної класифікації та виділення об'єктів і тла з метою кодування їх з різною візуальною якістю.

Ключові слова: збереження та пошук інформації, стиск мультимедійних даних, узагальнені JPEG-формати, перетворення Хаара довільної розмірності, вейвлет-аналіз, контурно-текстурна модель, виділення об'єктів, автоматична і нечітка класифікація.

Іванов В.Г. Модели, методы и информационные технологии агрегативного кодирования и сжатия мультимедийных данных. – Рукопис.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков 2007.

В диссертации рассматривается важная научно-практическая проблема повышения эффективности сжатия данных в мультимедийных архитектурах и сетевых информационных системах. Эта проблема решается посредством

разработанных и исследованных в диссертации теоретических основ, моделей и обоснованных информационных технологий сокращения статистической, структурной, психофизической и содержательной избыточности сообщений на основе объединения и комбинирования независимых методов сжатия данных и методов распознавания образов, что позволило применить эти методы с единых системных позиций и решить задачи экономного описания сообщений. Предложена и исследована обобщенная модель технологической среды сжатия мультимедийных данных, которая включает в себя декомпозиционные составляющие на основе моделей разложения сигналов в обобщенные ряды Фурье, вейвлет-анализа и контурно-текстурной модели на основе группирования данных, позволившая оптимизировать и выявить резервы как действующих JPEG-форматов сжатия изображений, так и предложить новые подходы на основе методов автоматической классификации и выделения объектов и фона, с целью кодирования их различными методами и с различным визуальным качеством.

Предложена перспективная классификация методов сжатия данных, позволившая выявить проблемные вопросы этой предметной области. Проведены теоретические и экспериментальные исследования вычислительных и сжимающих свойств унитарных преобразований в системах JPEG-кодирования. Исследованы и разработаны методы быстрых обобщенных преобразований Хаара для вектора и плоскости произвольной размерности, позволяющие снять некоторые ограничения на классические схемы анализа и синтеза сигналов в этом базисе.

Модифицированы и улучшены вычислительные свойства методов суммирования рядов Хаара в двоичной системе счисления, позволяющие сократить количество операций типа сложения-вычитания для N коэффициентов до $2(N-1)$ вместо $\log_2 N$ известного метода; получил развитие и реализован метод сжатия изображений на основе модели выделения и компенсации контуров при вейвлет-преобразовании, позволяющий одновременно сократить в 2,2 раза объем вычислений и повысить на 6%-13 % степень сжатия по сравнению с обычным вейвлет-преобразованием для различных классов изображений.

Модифицирован метод JPEG-кодирования за счет добавления процедуры учета межблочной корреляции коэффициентов косинусного преобразования и поведения их битовых плоскостей, позволяющий на 10%-12 % повысить эффективность сжатия при хорошем качестве восстановленного изображения ($E \leq 12\%$).

Получил дальнейшее развитие метод кодирования мультимедийных данных на основе обобщения форматов JPEG-технологий и вейвлет-преобразований для сжатия звуковых сигналов, а также метод сжатия на основе поэтапного выделения экстремальных точек в структуре сигнала, что дало возможность повысить эффективность кодирования речи по сравнению с форматом MP3 для исходного сигнала высокого качества.

Усовершенствованы процедурно-структурные методы построения и критерии оценки эффективности и сложности параллельных и последовательных вычислителей трансформант Хаара и вейвлет-коэффициентов, позволяющие выбирать оптимальные решения при заданных ограничениях на объем вычислений или количество технологических модулей.

Впервые в рамках JPEG-технологий предложен метод сжатия на основе модели автоматической классификации фрагментов и нечеткой классификации, что дало возможность существенно, в несколько раз, снизить объем данных для сильнонасыщенных детальных изображений, например, оттисков печатей по сравнению с результатами, полученными с помощью методов на основе вейвлет-преобразований.

Впервые предложен метод сокращения содержательной избыточности реалистичных изображений на основе модели выделения (классификации) объектов и фона и дальнейшей их обработки как с различной степенью качества, так и с использованием различных методов, что позволило с единых позиций подойти к решению задачи кодирования и анализа изображений и существенно повысить эффективность сжатого описания сообщений.

Проведено компьютерное моделирование разработанных моделей, методов и структур, а также обеспечено их использование при решении конкретных прикладных задач.

Ключевые слова: хранение и кодирование информации, сжатие мультимедийных данных, обобщенные JPEG-форматы, преобразования Хаара произвольной размерности, вейвлет-анализ, контурно-текстурная модель, выделение объектов, автоматическая и нечеткая классификация.

Ivanov V.G. Models, methods and information technologies of aggregate coding and compression of multimedia data. – Manuscript.

Dissertation for Doctor of Technical Sciences scientific degree, speciality 05.13.06 – Information technologies. – National technical university “Kharkiv polytechnic institute”, Kharkiv 2007.

The dissertation deals with an important scientific-practical problem of increase of effectiveness of data compression in multimedia architectures and network information applications. This problem is solved with the help of developed and researched in the dissertation new information technologies of reduction statistical, structural, psychophysical and substantial redundancy of messages on the basis of joining and combination of independent methods of data compression and methods of images recognition, which allowed to use these methods from uniform system positions and solve the task of more economical messages description. The author proposes and researches a generalized model of technological environment of compression of multimedia data, which has decomposition components on the basis of models of signals splitting in generalized Fourier lines, wavelet-analysis and contour-textural model on the basis of data grouping, which allowed to optimize and reveal reserves of existing JPEG formats of images compression and to propose new

approaches on the basis of methods of automatic classification and allocation of objects for encoding them with different visual quality.

Key words: storage and coding of the information, compression of the multimedia data, generalized JPEG-formats, Haar transform of arbitrary dimensionality, wavelet-analysis, contour-textural model, allocation of objects, automatic and imprecise classification.



Підписано до друку 25.01.2008 р. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Друк – ризографія. Умовн. друк. арк. 1,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. № 082481

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16
