

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему:

**Стиснення вимірювальної відеоінформації в
комп'ютеризованих інформаційно вимірювальних системах**

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-2м
спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Обремський А. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри М та ІВТ
Подчашинський Ю. О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« ____ » _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент: _____ Обремський Андрій Миколайович

1. Тема роботи: _____ Стиснення вимірювальної відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

Затверджена Наказом по університету від «14» листопада 2024 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « ____ » _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми роботи	10.11.2024	
2	Формування завдання на роботу	26.11.2024	
3	Пошук джерел інформації	29.11.2024-7.12.2024	
4	Переробка 2 розділу	10.12.2024-18.12.2024	
5	Написання під-розділів та переробка 2-4 розділів	11.12.2024-19.12.2024	
6	Розробка алгоритму	20.12.2024-21.12.2024	
7	Формування висновків	21.12.2024-22.12.2024	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Стиснення вимірювальної відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно вимірювальних системах» містить 97 сторінок, 27 рисунків, 11 формул та 51 джерел та 1 таблиці.

В даній кваліфікаційній роботі досліджено методи стиснення зображення, їх переваги та недоліки. Було показано як стиснення зображення впливає на похибки підчас стиснення та після відновлення зображення.

Ключові слова: Wavelet стиснення, похибки вимірювальної відеоінформації, стиснення зображення, переваги та недоліки, вимірювальна інформація.

ANNOTATION

The bachelor's qualification work on the topic "Wavelet compression of measurement video information in computerized information measurement systems" contains 97 pages, 27 figures, 11 formulas and 51 sources and 1 table.

In this qualification work, Wavelet methods of image compression, their advantages and disadvantages are investigated. It was shown how image compression affects errors during compression and after image recovery.

Keywords: Wavelet compression, video measurement errors, image compression, advantages and disadvantages, measurement information.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 93 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що має шість розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Темою роботи є Стиснення вимірювальної відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно вимірювальних системах.

Вступі пояснюється, яка мета цього дослідження, актуальність самої теми, завдання, та предмет дослідження. А також який об'єкт дослідження ми маємо.

В першому розділі здійснюється огляд та аналіз методів стиснення цифрового відеозображення, показано які є види методів стиснення, описані функції, що вони можуть виконувати, враховано які практичні завдання з вимірювань вони можуть виконувати на основі вайвлет стиснення відеозображень.

В другому розділі вибирається метод стиснення зображення, фільтри які будуть використані, мова програмування. Оцінюються похибки даного методу та його переваги і недоліки.

У третьому розділі розглянуто та проаналізовано основні теоретичні принципи методів перетворення Фур'є. Обговорюються різні типи перетворень Фур'є (дискретні, швидкі та неперервні) та їх застосування в цифровій обробці відеозображень. Методи перетворення Фур'є можуть ефективно працювати з частотними складовими сигналу.

Розділ розробка алгоритму та програми вайвлет стиснення побудований на тому, за яким алгоритмом та програмою буде виконуватися даний метод стиснення інформації.

В розділі експериментальні дослідження визначаються похибки у відеоканалі та досліджуються похибки координат об'єктів дослідження, результати відображень на графіках.

У висновку підсумовується чи може цей метод використовуватися в галузі вимірювання та його застосування з подальшими доробками.

ABSTRACT

The qualification work is represented by an explanatory note in the amount of 93 pages of A4 format, the note contains an introduction, the main part, which has six chapters, conclusions, a list of used sources and appendices. The topic of the work is Compression of measurement video information in computerized information measurement systems.

The introduction explains the purpose of this research, the relevance of the topic itself, the task, and the subject of the research. And also what research object we have.

The first chapter provides an overview and analysis of digital video image compression methods, shows what types of compression methods there are, describes the functions that they can perform, takes into account what practical measurement tasks they can perform based on wavelet compression of video images.

In the second section, the image compression method, the filters to be used, and the programming language are selected. The errors of this method and its advantages and disadvantages are evaluated.

In the third chapter, the main theoretical principles of Fourier transform methods are considered and analyzed. Different types of Fourier transforms (discrete, fast and continuous) and their application in digital video processing are discussed. Fourier transform methods can effectively work with the frequency components of a signal.

The section on the development of the wavelet compression algorithm and program is based on what algorithm and program will be used to perform this method of information compression.

In the section of experimental studies, errors in the video channel are determined and the errors of the coordinates of the research objects, the results of the displays on the graphs are investigated.

The conclusion summarizes whether this method can be used in the field of measurement and its application with further improvements.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ WAVELET-СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ.....	9
1.1. Основні поняття про стиснення цифрового відеозображення.....	9
1.2. Методи аналізу та стиснення відеозображення.....	18
1.3. Порівняння методів стиснення відеозображення.....	24
1.4. Обробка, аналіз та стиснення відеозображень на основі Wavelet-перетворення.....	27
1.5. Практичні задачі в галузі вимірювань та контролю, що можуть бути вирішені на основі вейвлет перетворення та стиснення відеозображень.....	34
1.6. Тенденції розвідку методів стиснення.....	39
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ З ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ.....	41
2.1. Стиснення цифрового відеозображення на основі вейвлет-перетворення.....	41
2.2. Оцінка похибок вимірювальної інформації на відеозображеннях, відновлених після стиснення.....	47
2.3. Переваги та недоліки Wavelet-стиснення.....	50
РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДОМ ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	55
3.1. Теоретичні аспекти методу Фур'є перетворення.....	55
3.2. Практичне застосування Фур'є перетворення для обробки зображень...56	
3.3. Порівняння перетворення Фур'є та вейвлет-стиснення для обробки зображень.....	61
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ WAVELET-СТИСНЕННЯ ТА ОЦІНКИ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	65
4.1. Алгоритми вейвлет-стиснення.....	65
4.2. Програми вейвлет-стиснення.....	66
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ.....	68
5.1. Дослідження амплітудних похибок у відеоканалі.....	68
5.2. Дослідження похибок координат об'єктів.....	75
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
ДОДАТКИ.....	94

					ММІВ 480.016.053- ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Стиснення відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Обремський А.М.						7	80
Перевірів	Подчаїшинський							
Рецензент						Державний Університет «Житомирська політехніка», група ІВТ-2м		
Н. контр.								
Затверд.	Подчаїшинський							

ВСТУП

В наш час зберігання великих обсягів інформації є нагальною проблемою. Навіть сучасні комп'ютерні технології не досягли достатнього обсягу пам'яті для зберігання та обробки інформації. Відеозображення, зокрема, за своєю природою часто містять кілобайти і мегабайти інформації. Цифрові зображення стають дедалі більшою частиною інформаційного світу. Розвиток Інтернету, поява потужніших комп'ютерів і вдосконалення технологій цифрових камер, сканерів і принтерів призвели до широкого використання цифрових відеозображень. Одним з рішень цієї проблеми є зменшення розміру файлу за допомогою стиснення. Існує багато методів стиснення, які класифікуються відповідно до типу інформації, що стискається. Стиснення даних важливе як для швидкості передачі, так і для ефективності зберігання. У цій роботі будуть розглянуті найпоширеніші методи стиснення відео, які використовуються для нерухомих зображень.

Розв'язання проблем стиснення, а також кодування відео загалом, скористалося результатами багатьох галузей інженерії та математики, що полегшило його розвиток. Враховуючи характеристики рухомих зображень, що розглядаються в цій роботі, тобто зображень природних структур, необхідно вибрати метод з наступними характеристиками.

- Високий ступінь стиснення
- Відносно невеликі похибки
- Проста реалізація
- Швидкі обчислення.

Таким методом є метод вейвлет-перетворення. Цифрові відеозображення, особливо зображення природних структур, характеризуються високим ступенем надмірності. Однак за допомогою вейвлет-перетворення цієї надмірності можна уникнути, а еквівалент оригінального зображення можна зберігати і використовувати повторно.

Метою даної роботи: вдосконалення існуючих методів стиснення природних відеозображень, зокрема, шляхом заміни дискретного косинусного

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		6

перетворення на вейвлет-перетворення, що дозволить підвищити ступінь стиснення. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати найпоширеніші методи стиснення відеозображень природних об'єктів та визначити основні переваги та недоліки кожного з них.
- Провести детальний аналіз обраного методу стиснення та обрати відповідну вейвлет-функцію для подальшого кодування інформації.
- Розробити модель вейвлет-стиснення природних текстурованих відеозображень та реалізовано її на практиці.

Актуальність теми: полягає в тому, що обсяг відеоданих, які генеруються, зберігаються і передаються різними каналами зв'язку, з кожним роком збільшується. Оскільки відеофайли займають великі обсяги пам'яті і вимагають значних ресурсів для зберігання і передачі, стиснення відео є важливим питанням для сучасного суспільства. Методи стиснення дозволяють економити ресурси під час передачі та зберігання даних, зберігаючи при цьому якість зображення. Вейвлет-стиснення є ефективним методом з кількох причин. Вейвлет-стиснення розділяє зображення на різні масштаби і частоти, відкидаючи неважливі компоненти і зберігаючи найважливіші деталі. Такий підхід гарантує високу гнучкість стиснення і можливість адаптації до конкретних вимог. Методи вейвлет-стиснення ідеально підходять для роботи з відеозображеннями з природною структурою, оскільки дозволяють досягти високого ступеня стиснення без значної втрати якості зображення. Вейвлет-стиснення зображення є особливо ефективним, оскільки воно дозволяє розділити зображення на різні масштаби і частоти, враховуючи деталі і характеристики зображення. Це дозволяє досягти високої гнучкості при високій якості відтворення. Вейвлет-стиснення також може зменшити обсяг даних без помітної різниці в якості зображення, оскільки дозволяє зберегти деталі зображення і відкинути менш важливі деталі.

Крім того, вейвлет-стиснення є масштабованим методом, який можна адаптувати до різних вимог до стиснення зображення. Це означає, що рівень надійності можна вибрати відповідно до конкретних потреб програми.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

Завданням цієї роботи є детальне вивчення й аналіз вайвлет-методів стиснення зображень, включно з розумінням їхніх математичних основ, принципів роботи та використаних алгоритмів.

В роботі проаналізовано ефективність різних методів стиснення зображень на основі вайвлет-перетворення. Для цього порівнюються результати стиснення зображень різними алгоритмами, включно з розміром файлу, отриманого після стиснення, і якістю відтворення зображення після відновлення.

Крім того, проаналізовано потенціал для оптимізації та поліпшення методів стиснення зображень на основі вайвлетів. Використані практичні підходи для подальшої оптимізації стиснення, як адаптивний вибір вейвлет-функції, використання квантування та ентропійного кодування.

Результати дослідження будуть корисні в різних галузях, включно з медичною діагностикою, телекомунікаціями та зберіганням даних. Застосування ефективних методів стиснення зображень з використанням методів редукованих вайвлетів може значно збільшити об'єм даних для зберігання та передавання, забезпечуючи при цьому збереження важливих деталей і якості зображення.

Приклади стиснення включають кодування наборів коефіцієнтів, використання різних рівнів розкладання для представлення зображень у різних масштабах, а також застосування методів квантування.

Предметом дослідження: вайвлет-стиснення зображень є розробка та вдосконаленні алгоритмів і методів, які визначають вайвлет-аналіз для ефективного стиснення зображень.

Тому дана робота присвячена детальному вивченню та аналізу методів вайвлет-стиснення зображень з метою підвищення ефективності стиснення та збереження якості зображення.

Об'єкт дослідження: вайвлет-стиснення зображень є процес стиснення зображень за допомогою вайвлет-аналізу. Метою є дослідження та розробка методів, алгоритмів і технологій для ефективного стиснення зображень зі збереженням якості зображень при зменшенні обсягу даних.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						8
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ

1.1. Основні поняття про стиснення цифрового відеозображення

Стиснення цифрового відеозображення є важливим кроком у зменшенні обсягу даних, що використовуються для зберігання та передачі відеоінформації. Основна мета мета-стиснення - усунути непотрібну інформацію, яка не є важливою для збереження якості зображення. Основні поняття, пов'язані зі стисненням відеоданих, такі як:

- **відеопослідовність**: послідовність кадрів, що представляють рух або зміну сцени в часі.
- **стиснення**: процес зменшення обсягу даних шляхом видалення надлишкової інформації та використання ефективних методів кодування.
- **швидкість передавання даних**: кількість бітів, які використовуються для кодування та передавання відеозображення за одиницю часу. Визначає якість і кількість даних у відеопослідовності.
- **стиснення без втрат і з втратами**: метод стиснення, за якого в процесі стиснення втрачається або не втрачається будь-яка інформація. Стиснення з втратами зазвичай дає вищий ступінь стиснення, але може призвести до втрати деталей і якості зображення. [44;29]

Різні методи прогнозування широко використовуються в сучасних системах покращення якості відео і можуть бути умовно розділені на дві категорії: предиктивні та непередиктивні методи.

- **Метод передбачення**

Методи передбачення в стисненому відеозображенні описують принцип генерації наступних кадрів на основі попереднього кадру. Одним з найпоширеніших методів передбачення є покадрове стиснення, коли ключові кадри (всередині кадру) і проміжні кадри (між кадрами) кодуються незалежно.

У той час як ключові кадри кодуються незалежно, проміжні кадри потребують інформації з попереднього кадру і прогнозуються та кодуються.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						9
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Схеми передбачення також включають схеми оптичного потоку, які використовуються для виявлення руху об'єктів у відеопослідовності та кодування цього руху. [6,7,33]

- **Непрогнозуючі методи**

Непрогнозуючі методи (методи без втрат) базуються на стисненні даних без втрат і використовують статистичні методи для зменшення обсягу даних. Типовим прикладом є метод дискретного косинусного перетворення (DCT), що використовується у стандарті стиснення відеозображення MPEG: DCT розкладає кожен кадр на його частотні складові, а коефіцієнти DCT використовуються для подальшого кодування. [19]

Розробка нових методів стиснення зображень і вдосконалення наявних алгоритмів - активна сфера досліджень. Впровадження нових ідей, таких як глибоке навчання, штучний інтелект і машинне навчання, відкриває нові перспективи в галузі стиснення відео. Очікується, що це призведе до розроблення ефективніших і гнучкіших методів стиснення, що враховують характеристики відео та вимоги додатків. Майбутні розробки в галузі стиснення зображень будуть спрямовані на поліпшення якості відтворення, збільшення ступеня стиснення і забезпечення високошвидкісної передачі великих обсягів відеоданих. Розвиток стандартів стиснення відеозображення, таких як H.264 і H.265 (HEVC), а також майбутніх стандартів також буде успішним у забезпеченні сумісності та можуть широко використовуватися на різних пристроях і платформах.

Загалом, розвиток стиснення відеозображення - це безперервний процес і активна сфера досліджень і розробок.

Сучасні технології, алгоритми та методи, такі як вейвлет-аналіз, глибоке та машинне навчання, покращують ефективність стиснення та якість відеоданих. В результаті користувачі можуть насолоджуватися високоякісним відео на різних платформах і пристроях. Однією з останніх тенденцій у сфері стиснення відеозображення є розвиток адаптивного стиснення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						10
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Цей підхід дозволяє адаптувати якість і розмір відеопотоку відповідно до доступної пропускної здатності мережі та можливостей пристрою для відтворення.

При використанні адаптивного стиснення відеодані розбиваються на різні шари з високою роздільною здатністю і якістю. Кожен шар кодується окремо, і під час відтворення пристрій вибирає найбільш підходящий шар залежно від доступних ресурсів.

Крім того, зростаюча популярність потокових сервісів висуває нові вимоги до обробки відео. Забезпечення низької затримки і високої якості відтворення в режимі реального часу залишається серйозною проблемою. Тому існує гостра потреба в розробці алгоритмів стиснення, які ефективно використовують пропускну здатність мережі та забезпечують низьку затримку. Нарешті, стиснення відео стало особливо актуальним із розвитком віртуальної реальності (VR) і доповненої реальності (AR). Віртуальна реальність вимагає високоякісних відеозображень з високою роздільною здатністю, високою частотою кадрів і низькою затримкою для створення ефекту занурення для користувача. Однак віртуальна реальність також вимагає високої пропускної здатності для передачі великих обсягів відеоданих у режимі реального часу. У контексті доповненої реальності стиснення відеоданих відіграє важливу роль в об'єднанні відеоданих з реальним зображенням на дисплеї користувача. Відеодані повинні бути стиснуті і передані з достатньо високою швидкістю, щоб забезпечити безперешкодну інтеграцію віртуальних і реальних об'єктів.

Щоб реалізувати ці вимоги, дослідники і розробники працюють над новими алгоритмами і методами стиснення відеоданих, які враховують особливості віртуальної і доповненої реальності. Ці методи включають використання передових технологій, таких як адаптивне тиснення, потокове передавання, оптимізація пропускної здатності та стиснення з втратами.

Крім того, в контексті стиснення зображення важливо вирішувати питання обчислювальної ефективності та ресурсів пристроїв. [14,6]

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						11
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Нові алгоритми і технології повинні бути ефективними з точки зору обчислень і споживання енергії, щоб бути придатними для використання на мобільних пристроях та інших платформах з обмеженими ресурсами.

Тому стиснення відеозображення є важливою сферою постійного розвитку та досліджень.

Методи стиснення можна використовувати для зменшення обсягу відеоданих при збереженні якості відтворення. Це важлива платформа для ефективного зберігання, передачі та використання відео на різних пристроях і в різних додатках.

Одним з основних методів стиснення відео є вейвлет-аналіз. Вейвлет-аналіз використовує математичний інструмент, званий вейвлетом, для розкладання відеоданих на різні частотні та просторові інформаційні компоненти. Це дає змогу ефективно відображати та стискати відеодані.

Використання вейвлет-аналізу для стиснення зображень дає змогу досягти високого ступеня стиснення завдяки видаленню високочастотного шуму і несуттєвих деталей за умови збереження важливої інформації, таких як форма, текстура і рух відео. Вейвлет-аналіз також адаптується до розміру відеопотоку, забезпечуючи різну роздільну здатність і якість відтворення залежно від потреб користувача і ресурсів пристрою.

До методів стиснення відео, відмінних від вейвлет-аналізу, відносяться блочне стиснення, прогресивне стиснення, інтелектуальне кодування та ієрархічне стиснення. Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження і використовується для конкретних вимог до стиснення відео та сценаріїв застосування таких як:

Блокове стиснення - один з найпоширеніших методів стиснення зображення. Він заснований на розбитті відеокадру на блоки і кодуванні кожного блоку окремо. Цей метод використовує принцип просторової локалізації відеосигналу, коли сусідні пікселі мають однакове значення.

Блокове стиснення використовує метод передбачення і кодує різницю між вихідним і передбачуваним значеннями для досягнення високого стиснення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						12
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Прогресивне стиснення - Ще один метод стиснення відео, який поступово покращує якість відтворення. У цьому методі відеоінформація кодується як серія прогресивних шарів, що містять додаткову інформацію для поліпшення якості відтворення. Перший шар містить базову інформацію, що забезпечує низьку якість, але швидке відтворення, а наступні шари містять детальну інформацію, що поліпшує якість зображення. Це дає змогу відеопотоку адаптуватися до доступних джерел і можливих пристроїв відтворення.

Передбачувальне кодування - важлива техніка відеореельфу, заснована на використанні статистичного аналізу та моделювання руху об'єктів у відеоданих. Воно використовується для передачі тільки відмінностей між послідовними кадрами, а не для повного кодування окремих кадрів. Передаючи більше даних, можна зменшити розмір відеопотоку.

Під час передбачувального кодування інформація може передаватися за допомогою алгоритмів, що враховують взаємозв'язок між кадрами, наприклад, шляхом кількісної оцінки вектора руху.

Ієрархічне стиснення - ще один ефективний метод стиснення відеозображення, який використовує підхід, що створює різні рівні деталізації відеоданих. Він розділяє відеокадр на блоки і створює різні рівні деталізації для кожного блоку. Нижчі рівні представляють загальну інформацію про зображення, тоді як вищі рівні забезпечують більшу деталізацію. Під час відтворення відеозображення ці рівні можуть використовуватися по-різному залежно від доступних ресурсів і вимог користувача, що дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність мережі та обмежені ресурси пристрою. [25; 26]

У сфері стиснення зображення постійно досліджуються деякі методи і розробляються нові підходи, такі як використання штучного інтелекту, машинного навчання і глибокого навчання.

Ці методи допомагають поліпшити якість стиснення, зменшити розмір даних і підвищити адаптивність до різних умов відтворення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						13
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Загалом, розвиток технологій стиснення зображення дає змогу покращити якість відтворення, ефективно використовувати ресурси та безперешкодно передавати і транслювати відеозображення на різних платформах і пристроях.

Однак важливо підтримувати баланс між стисненням і якістю зображення, оскільки надмірне стиснення може призвести до втрати компонентів і погіршення візуального досвіду користувача.

Крім того, зі зростанням популярності відеозображення на різних платформах, включаючи мобільні пристрої, зростає потреба в оптимізації стиснення зображення для обмежених ресурсів. Розробники звертають увагу на розмір відеофайлів, енергоспоживання та використання обчислювальних ресурсів пристрою, включаючи апаратну підтримку відео та оптимізовані алгоритми і формати стиснення.

Нові технології, такі як мережі 5G та Інтернет речей, також впливають на стиснення зображень. Ці технології забезпечують вищу пропускну здатність і меншу затримку, що дає змогу передавати великі обсяги відеоданих у режимі реального часу. Це відкриває шлях до високоякісного потокового відео та використання віртуальної і доповненої реальності. [15]

Загалом, стиснення зображень стало невід'ємною частиною сучасних мультимедійних технологій. Розробники продовжують працювати над створенням гнучких методів, які забезпечують вищу ефективність, якість і адаптованість до різних сценаріїв. Це дає змогу користувачам насолоджуватися високоякісними відеоданими на різних пристроях і платформах, незалежно від обмеженості ресурсів.

Ще одна тенденція в галузі стиснення відео - використання адаптивного потокового мовлення. Адаптивна потокова передача використовує такі технології, як Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) і HTTP Live Streaming (HLS), для автоматичного налаштування якості зображення залежно від мінливих умов мережі та пристрою відтворення.

Потім відеодані розбивається на менші фрагменти різної якості, а пристрій відтворення автоматично вибирає найкращу якість для поточних умов.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						14
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Це забезпечує безперебійне відтворення відеоінформації навіть при обмеженій пропускній здатності мережі. Стиснення відео є важливою темою в галузі обробки відеоданих. Це пов'язано з тим, що сучасні відеофайли можуть бути дуже великими і вимагають великих обсягів зберігання і передачі. Ефективні методи стиснення відео дозволяють зменшити розмір файлу, зберігаючи при цьому прийнятний рівень якості зображення.

Види методів стиснення:

MPEG (Moving Picture Experts Group): MPEG - один з найпопулярніших стандартів стиснення відео; MPEG є гнучким і забезпечує хорошу якість зображення, але частини відео можуть бути втрачені.

H.264 (AVC - Advanced Video Coding): H.264 - Це одна з найпотужніших схем стиснення відео, що використовується для передачі високоякісних зображень через Інтернет. H.264 використовує стиснення з втратами і пропонує високу гнучкість при збереженні високої якості відео. Однак H.264 вимагає великої кількості обчислювальних ресурсів для кодування і декодування відеоінформації.

H.265 (HEVC - High Efficiency Video Coding): H.265 - це стандарт стиснення відеоданих наступного покоління після H.264.

Цей метод навіть надійніший, ніж H.264. Він використовує ефективніші алгоритми стиснення для зменшення розміру файлу зі збереженням високої якості відео. Однак використання H.265 вимагає більш потужних обчислювальних ресурсів для кодування і декодування відео, які можуть бути обмежені на деяких пристроях.

JPEG (Joint Photographic Experts Group)- Система форматів, що лежить в основі JPEG, виглядає наступним чином.

Після перетворення повнокольорового зображення з колірного простору RGB (червоний, зелений і синій) у колірний простір YCrCb (Y - світлий компонент, Cr - червоний, тобто теплий колір, Cb - синій, тобто холодний колір), зображення розбивається на 8 кадрів розміром 88 x 8 пікселів. До кожного з цих кадрів застосовується дискретне косинусне перетворення Фур'є.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						15
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

JPEG2000. Розробка JPEG2000 почалася в 1996 році. З того часу стало зрозуміло, що вейвлет-алгоритм стиснення значно перевершує ДКП, який використовується в JPEG. Однак, не варто нести величезні витрати лише заради збільшення ступеня стиснення. При розробці нового стандарту, крім підвищення ефективності стиснення, ставилися також наступні цілі: алгоритм, стійкий до помилок каналу зв'язку при передачі стиснених зображень. Це говорить про те, що новий стандарт призначений для мобільних додатків, тобто для передачі зображень по бездротовому каналу.

Уніфікована архітектура декодерів; JPEG реалізує 44 різних режими декодування залежно від програми; синтаксис JPEG2000 гарантує використання одного і того ж декодера незалежно від використовуваної схеми кодування.

Масштабованість. Залежно від потреби, це може бути масштабованість за розміром, дозволом, частотному змісту, кількості кольорів.

Обробка окремих областей на зображенні (Region Of Interest). Наприклад, користувача може цікавити не все зображення вулиці, а лише фото окремої машини, він виділяє його (мишею), і декодер з високою якістю відновлює цей фрагмент. (Все неможливо "підняти" з високою якістю через обмеження на об'єм передаваної інформації).

Стиск зображень великих розмірів.

Можливість обробки стислого зображення без декомпресії.

Кожен з цих методів стиснення зображення має свої переваги та недоліки. Вибір того чи іншого методу залежить від конкретних вимог і обмежень проекту. Наприклад, якщо метою є зменшення розміру файлу зі збереженням якості зображення.

Наприклад, якщо метою є зменшення розміру файлу при збереженні тієї ж якості зображення, то H.265 або AV1 є гарним вибором. VP9 - ефективний вибір, якщо пропускна здатність мережі обмежена. Якщо важлива висока сумісність між пристроями та платформами, надійним стандартом є MPEG. [14; 21-23; 33]

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

Недоліком методів стиснення з втратами, таких як MPEG, H.264, H.265 і VP9, є те, що якість зображення певною мірою втрачається. Чим вищий ступінь стиснення, тим більше втрачається деталей. Крім того, використання більш ефективних методів стиснення, таких як H.265 і AV1, може вимагати більшої обчислювальної потужності, що може бути обмежувальним фактором для певних пристроїв і систем з обмеженими ресурсами.

Представлені тут схеми стиснення зображення - це лише кілька прикладів існуючих підходів. Дослідження в галузі стиснення зображення тривають, і розробляються нові методи для підвищення ефективності стиснення та якості зображення.

Вибір найкращого методу стиснення відео повинен враховувати конкретні потреби проекту, наявні ресурси та обмеження, а також компроміс між розміром файлу та якістю зображення.

Окрім вищезгаданих методів стиснення відеоданих, існують й інші підходи, які заслуговують на увагу:

Motion JPEG (M-JPEG): M-JPEG - це формат стиснення відеоданих, у якому кожен кадр зображення стискається окремо з втратами; M-JPEG забезпечує високу якість зображення та швидке відтворення, але вимагає багато пам'яті для зберігання відеофайлів.

Ієрархічне кодування: це метод стиснення відео, який використовує ієрархічну структуру для поділу зображень на шари різної якості та роздільної здатності. Це дає змогу передавати і відтворювати зображення з різною якістю залежно від доступних ресурсів і пропускної здатності мережі. Ієрархічне стиснення забезпечує адаптивність і масштабованість, але вимагає складнішого оброблення та декодування.

Векторне квантування (VQ): Цей метод стиснення відеозображення використовує векторне квантування, щоб розглядати блок пікселів як вектор і замінити його одним або кількома векторами кодека. Векторне квантування забезпечує високу стійкість при збереженні якості зображення, але вимагає складних обчислювальних операцій для кодування і декодування.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						17
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Метод стиску Хаффмана (Huffman, 1952) - є популярним методом стиснення інформації для дискретних даних різної структури [1]. Основна ідея методу полягає в заміні даних більш ефективним кодом, який полягає в тому, що кожному унікальному значенню присвоюється двійковий код. Більш короткі коди використовуються для більш частих значень. Ці призначення зберігаються в таблиці перекодування і завантажуються в програму декодування перед самими кодами.

Словарні методи стиску LZ. Сьогодні найпоширеніші методи стиснення засновані на словникових алгоритмах. Існує дві гілки словникового алгоритму: одна, похідна від алгоритму LZ77 [3], замінює рядок у потоці посиланням на такий самий рядок, що траплявся раніше, із зазначенням довжини рядка, що замінюється. Інша запозичена з алгоритму LZ78 [4]. У цій гілці алгоритму словник заповнюється під час виконання завдання. Якщо у вхідному потоці зустрічається рядок, який вже є у словнику, він замінюється на відповідний номер запису у словнику. В даний час алгоритми типу LZ77 рідко використовуються самостійно, і було створено ряд вдалих комбінованих алгоритмів, в яких вихідний потік алгоритму типу LZ77 стискається за допомогою контекстно-вірогіднісного алгоритму.

1.2. Методи аналізу та стиснення відеозображення

Вейвлет-перетворення: базується на використанні вейвлет-функцій, Це короткі коливання, локалізовані як у часі (або просторі), так і за частотою. Це корисно для аналізу сигналів, що характеризуються різкими змінами, наприклад, країв зображення.

Основні принципи:

1. декомпозиція: сигнал розділяється на низькочастотні та високочастотні компоненти за допомогою фільтрів;
2. масштабування та зсув: вейвлет-функція масштабується (змінюється її ширина) та зсувається;
3. аналіз з декількома розв'язками: сигнал розкладається на декілька рівнів деталізації, що дозволяє розглянути виняткові аспекти даних.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						18
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. аналіз з множинною роздільною здатністю: сигнал розкладається на кілька рівнів деталізації, що дозволяє обробляти виняткові аспекти даних.

Етапи вейвлет-перетворення зображень:

1. Розділення на частотні компоненти:

Низькочастотний компонент (апроксимація): містить основну структуру зображення

Високочастотний компонент (деталізація): відповідає за тонкі елементи, такі як краї та текстури

2. Кодування та стиснення:

Високочастотні компоненти мають меншу енергію і можуть бути вилучені або стиснуті без значної втрати якості зображення

3. Ієрархічний аналіз:

Зображення обробляються на різних рівнях:

Перший рівень: глобальна структура.

Наступні рівні: нижчі рівні, де деталізація більш дрібна.

Застосування для стиснення Вейвлет-перетворення широко використовується в загальних алгоритмах стиснення:

- JPEG2000: формат стиснення зображень без втрат або з втратами, заснований на дискретному вейвлет-перетворенні.

- Стиснення відео: використовується для аналізу та зменшення кількості інформації в кадрі.

Типи вейвлетів:

Існує багато типів вейвлетів:

- Хаара: найпростіший вейвлет, використовується для початкового аналізу.

- Daubechies: більш складні, більш рівномірні розкладання.

- Coiflet, Symlet: оптимізовані для конкретних завдань, таких як обробка сигналів і зображень.

Вейвлет-перетворення лежать в основі багатьох сучасних методів аналізу даних, забезпечуючи високу ефективність і точність.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						19
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Методи стиснення на основі нейронних мереж: Останніми роками інтенсивно розвиваються методи стиснення на основі нейронних мереж, такі як автокодери та мережі глибокої згортки. Вони можуть мати адаптивно ефективне представлення даних і, таким чином, досягати високої надійності з мінімальною втратою якості.

Основи нейромережевого стиснення:

1. Навчання на великих даних:

Нейронні мережі тренуються на найбільших зображеннях і відео, щоб навчитися найкращому способу компактного представлення даних;

2. Автокодери о Поширені архітектури для стиснення:

Кодер: стискає вхідні дані в компактне представлення (латентний простір).

Декодер: відновлює дані з компактного представлення.

Стиснення досягається за рахунок зменшення розміру латентного простору.

Генеративні моделі:

Такі моделі, як варіаційні автокодери (VAE) та генеративні змагальні мережі (GAN) використовуються для підтримки високої якості відновлення даних після стиснення.

Ключові особливості нейромережевого стиснення:

1. Персоналізоване стиснення:

Мережа навчена виявляти специфічні особливості зображення або відео, важливі для збереження якості;

2. Адаптивне стиснення:

Нейронні моделі можуть динамічно регулювати ступінь стиснення залежно від вмісту (наприклад, зображення з більшою складністю матимуть менший ступінь стиснення).

3. Стиснення без втрат:

Стиснення без втрат використовує такі алгоритми, як предиктивне кодування на основі нейронних мереж.

Архітектури стиснення:

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						20
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. Згорткові нейронні мережі (CNN):

Використовуються для аналізу зображень і виділення ознак.

CNN часто складають основу кодерів в автокодерах.

2. Конвертери:

Корисні для обробки великих наборів даних, включаючи відео.

Здатність обробляти глобальні залежності забезпечує підтримку оптимальних методів стиснення;

3. Рекурентні нейронні мережі (RNN):

Використовуються для аналізу перекриттів, таких як зміни у відео від кадру до кадру.

Приклади та застосування:

1. Google DeepMind: Використовує нейронні мережі для розміщення відео на YouTube, щоб мінімізувати втрату якості та зменшити трафік;

2. Facebook AI: Застосовує нейронні мережі для оптимізації обміну відео своїх продуктів;

3. OpenAI DALL-E та подібні: Використовує нейронні мережі для оптимізації обміну відео. OpenAI DALL-E та подібні: Використання нейронних мереж для зменшення розміру моделі та стиснення зображень.

Фрактальне стиснення: це метод стиснення зображень і відео, заснований на властивостях самоподібності візуальних даних. Цей підхід використовує математичний опис повторюваних структур на зображенні для ефективного зменшення обсягу даних.

Основи фрактального стиснення:

Фрактальне стиснення ґрунтується на тому, що зображення часто містять повторювані структури (наприклад, текстури та геометричні візерунки),

які можна описати за допомогою систем ітерованих функцій (IFS).¹ 1. самоподібність: Зображення можна розкласти на невеликі блоки (патчі), деякі з яких подібні один до одного або до більших частин зображення;

2. стиснення за допомогою перетворень: Для компактного визначення цих самоподібних областей використовуються афінні перетворення (обертання, масштабування, зміщення); [7]

3. Зберігання інформації: Замість того, щоб зберігати кожен піксель зображення, зберігаються параметри перетворення, які можуть бути використані для стиснення зображення. Зображення стискається за допомогою перетворення зображення. Зберігаються параметри, які потім можуть бути використані для відновлення оригінального зображення.

Етап фрактального стиснення:

1. Розбиття на блоки: Зображення розбивається на менші фрагменти (наприклад, блоки розміром 8 x 8 пікселів);

2. Пошук подібності: Кожен маленький блок (блок діапазону) порівнюється з більшою областю зображення (блок області), щоб знайти найбільшу область;

3. Обчислення параметрів перетворення: Визначаються афінні коефіцієнти перетворення, які найкраще відображають подібність між блоками;

4. Зберігання перетворень: Замість пікселів зображення зберігаються лише параметри перетворення;

5. Декодування: Для відновлення зображення алгоритм використовує збережені перетворення і повторно застосовує їх до вихідних областей;

Застосування:

Графіка та дизайн: збереження текстур.

Медична візуалізація: зберігання дуже детальних даних.

Наукова візуалізація: наприклад, супутникові знімки з декількома структурами.

Комбінований підхід до стиснення: відео та зображень поєднує кілька методів для досягнення оптимального балансу між якістю, швидкістю та ступенем стиснення. Цей підхід враховує характеристики зображення, відео та алгоритмічних функцій і використовується для більш ефективного зберігання та передачі медіаконтенту. [50]

Принципи комбінованих підходів:

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						22
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. Поєднання методів стиснення з втратами та без втрат: Зазвичай методи стиснення з втратами використовуються для загального стиснення, а для збереження деталей - з втратами. Наприклад, у відеокодеках (H.264, H.265) застосовується перетворення (DCT або вейвлет), а залишкові помилки кодуються методами з втратами (кодування Хаффмана або арифметичне кодування).

2. Адаптивне стиснення: Алгоритм динамічно вибирає найбільш ефективний метод залежно від типу даних. Наприклад, текстури з низькою деталізацією стискаються з великими втратами, тоді як області з високою деталізацією стискаються з мінімальними втратами. Алгоритм використовує комбінацію просторового та частотно-часового аналізу:

3. Просторовий аналіз використовується для обробки кожного кадру зображення (як у форматі JPEG). Часовий аналіз використовується для врахування змін між кадрами у відео (як в аналізі руху H.264).

Приклади комбінованих методів:

Відеокодеки:

1) H.264/AVC та H.265/HEVC: H.264/AVC та H.265 /HEVC: поєднує DCT для просторового стиснення, компенсацію руху для міжкадрового стиснення та ентропійне кодування (Huffman або CABAC).

2) AV 1: Застосовує вдосконалені алгоритми для адаптивного вибору схем кодування;

2. Форматування зображень:

1) JPEG2000: Використовує вейвлет-перетворення для стиснення з втратами та ентропійне кодування без втрат для залишкових помилок;

2) WebP: Покладається на цю техніку в JPEG та VP8, використовуючи як метод перетворення, так і адаптивне передбачення;

3. Нейромережевий підхід:

Нейронні мережі використовуються для попередньої обробки (наприклад, для зменшення шуму та оцінки деталей), після чого застосовуються звичайні методи тиснення;

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						23
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. Фрактальне вейвлет-стиснення:

поєднує фрактальні методи для пошуку самоподібності з вейвлет-перетвореннями для деталізації;

Виклики методу:

1. Обчислювальна складність: кілька алгоритмів збільшують вимоги до ресурсів;
2. Висока залежність від вмісту: Необхідність отримання параметрів для різних типів даних;
3. Ускладнення: Складні алгоритми та оптимізація для інтеграції в різні методи;

1.3. Порівняння методів стиснення

Стиснення даних є важливою технологією в багатьох галузях і дозволяє ефективно використовувати ресурси, необхідні для зберігання, передачі та обробки інформації. Методи стиснення застосовуються до різних типів даних, включаючи відео, зображення, аудіо, текстові та табличні дані, а також у спеціалізованих галузях, таких як медицина та наука. Нижче описано характеристики та застосування основних методів стиснення.

Стиснення відео

Потокові сервіси: Такі платформи, як YouTube, Netflix і Hulu, використовують сучасні кодеки (H.264, HEVC, AV1) для зменшення розміру відео з мінімальною втратою якості зображення.

Адаптивні бітрейти забезпечують оптимальну якість відео залежно від швидкості інтернет-з'єднання.

Відеоконференції: Такі сервіси, як Zoom, Microsoft Teams і Google Meet, пропонують стиснення відео в реальному часі для забезпечення стабільної роботи навіть в умовах обмеженої передачі даних.

Стиснення зображень

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						24
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Веб-платформи та соціальні платформи: формати JPEG і WebP широко використовуються для публікації фотографій у веб-додатках і соціальних мережах;

WebP має високий ступінь стиснення і дозволяє швидше завантажувати сторінки; формати JPEG і WebP використовуються для зберігання зображень у різних форматах, включаючи JPEG2000, JPEG2000 і JPEG2000.

Архівування та медичне зберігання: формати PNG і TIFF без втрат використовуються для зберігання медичних зображень (наприклад, МРТ і КТ); формат JPEG2000 використовується у відеоспостереженні для збереження високої якості зображення; а формат TIFF використовується для архівування та медичного зберігання.

Друк і публікація: файли стискаються для друку зі збереженням високої роздільної здатності.

Стиснення аудіо

Музичні сервіси: Формати MP3, AAC і OGG зменшують розмір аудіофайлів для потокової передачі на таких платформах, як Spotify і Apple Music.

Телефонія та VoIP: алгоритми стиснення мови (G.711, G.729) забезпечують якісну передачу голосу навіть у мережах з низькою пропускну здатністю.

Подкасти та аудіокниги: стиснення з втратами використовується для зменшення розміру файлу зі збереженням прийнятної якості звуку.

Стиснення текстових і табличних даних

Архівування: стандартні формати ZIP, RAR і 7z стискають текстові файли та електронні таблиці, зменшуючи розмір архіву.

Хмарні сервіси: Такі платформи, як Google Drive і Dropbox, використовують алгоритми стиснення для економії місця на сервері.

Передача даних: Стиснення текстових повідомлень у Messenger може пришвидшити їхню доставку.

Стиснення у спеціалізованих галузях

Медична візуалізація: Формат DICOM використовується для архівування та аналізу медичних зображень із вбудованим стисненням.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						25
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Космічні дослідження: Дані з телескопів і супутників стискаються і передаються на великі відстані з мінімальною втратою якості зображення.

Стиснення в мобільних технологіях

Фото та відео: камери смартфонів використовують формати HEIC і HEVC для економії пам'яті при збереженні високої якості зображення.

Обмін файлами: Такі додатки, як WhatsApp, Telegram і Viber, автоматично стискають медіафайли, щоб пришвидшити передачу.

Стиснення в індустрії розваг та ігор

Ігрова графіка: стиснення текстур зменшує розмір файлу, що призводить до пришвидшення завантаження та економії пам'яті.

Віртуальна реальність (VR): передача зображень і відео в режимі реального часу вимагає високоефективного стиснення для зменшення затримок.

Стиснення в системах безпеки

Відеоспостереження: алгоритми стиснення (H.265, MJPEG) дозволяють довгостроково зберігати відеоархіви.

Інтернет речей (IoT): Пристрої IoT стискають дані для швидкої передачі на централізований сервер.

Вибір найкращого методу стиснення

При виборі методу стиснення важливо враховувати наступні фактори:
Ступінь стиснення - співвідношення між початковим обсягом даних і обсягом даних після стиснення.

Якість відновлення - рівень втрат у відновлених даних, що вимірюється метриками PSNR або SSIM.

Обчислювальна складність - ресурси і час, необхідні для стиснення і відновлення даних.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						26
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.1. Порівняння методів стиснення.

Метод	Ступінь стиснення	Якість відновлення	Обчислювальна складність
Вейвлет стиснення	Дуже висока	Висока	Середня
Фрактальне стиснення	Висока	Висока	Висока
Нейромережові методи	Дуже висока	Висока	Дуже висока
JPEG (традиційний)	Середня	Середня	Низька

1.4. Обробка, аналіз та стиснення відеозображень на основі Wavelet-перетворення

Вейвлет-аналіз - це потужний інструмент стиснення відео, який може одночасно витягувати просторову та частотну інформацію із зображень. Вейвлет-аналіз використовується для декомпозиції відеопослідовностей на різні рівні деталізації різної частоти та складності.

Одним з найпоширеніших методів вейвлет-аналізу для стиснення зображень є використання 2D дискретних вейвлет-перетворень (2D DWT) для декомпресії відеопослідовностей з різною частотою і рівнем складності, що дозволяє відображати зображення в компактному вигляді, зберігаючи їхню цілісність і виділяючи невеликі зміни.

Стиснення відео за допомогою вейвлет-аналізу включає наступні етапи:

1. Перетворення відеопослідовності: вхідна відеопослідовність розкладається на декілька рівнів деталізації та низькочастотних конфігурацій за допомогою 2D DWT.

Це дозволяє виділити різні частотні компоненти та просторові деталі відеозображення.

2. Квантування: в результаті вейвлет-коефіцієнти розкладаються після квантування, що знижує точність представлення. На цьому етапі поліпшуються ступінь стиснення і якість зображення.

3. Кодування: квантовані коефіцієнти кодуються з використанням ефективних алгоритмів тиснення даних, таких як алгоритм зворотного тиснення або вбудовані алгоритми тиснення (наприклад, алгоритм Хаффмана або алгоритм JPEG).

4. Декодування: Закодовані дані декодуються і реконструюються шляхом стиснення коефіцієнтів, виконання зворотного вейвлет-аналізу і відновлення відеопослідовності з отриманих компонентів.

5. Відтворення: стиснене відеозображення можна відтворювати на відповідних пристроях, щоб зменшити обсяг даних для відображення.

6. Аналіз втрат і якості стисненого відеозображення: при використанні методів стиснення відео, перше, що потрібно проаналізувати - це втрати та якість стисненого відео. Якщо стиснення впливає на якість відеоінформації, важливо мати спосіб оцінити якість і проаналізувати, які частини відеозображення можуть бути втрачені під час стиснення.

Методи вейвлет-аналізу для стиснення відео не дозволяють досягти високого ступеня стиснення при збереженні важливих деталей і якості зображення. Гнучкість при виборі рівня деталізації для стиснення дозволяє пристосувати стиснення до конкретних характеристик відеозображення. Типовим методом вейвлет-аналізу є вейвлет-перетворення пакетів. Це може покращити якість стиснення, розбиваючи відеодані на менші деталі. Використовуючи вейвлет-аналіз для стиснення зображення, можна також застосовувати прогресивні методи, які стискають відеопослідовність у кілька етапів з високою якістю. Це може покращити якість відтворення відеозображення при збереженні даних.

Однак слід зазначити, що використання вейвлет-аналізу під час роздільної здатності відео також є складним і витратним з точки зору обчислювальних ресурсів після обробки великої кількості вейвлетів.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						28
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Загалом, методи вейвлет-аналізу є ефективним інструментом для стиснення відео, оскільки вони дозволяють досягти високих коефіцієнтів стиснення при збереженні якості зображення.

Сучасні об'єктивні метрики включають пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR), індекс структурної подібності (SSIM) та багатовимірну оцінку відеозображення (VMAF). Ці показники порівнюють стиснене зображення з оригінальним і оцінюють різні аспекти, такі як розмиття, зміна кольорів і шум.

Оцінювання якості накладених зображення є складним завданням, оскільки люди по-різному сприймають відеозображення та мають різні вимоги до якості.

Тому важливо досліджувати та розробляти нові об'єктивні метрики для оцінки якості складеного зображення, які краще підходять для людського сприйняття. Такі метрики можуть відображати характеристики спектру зорової чутливості людини, ефективно оцінювати різні артефакти стиснення і надавати більш точну оцінку якості.

Крім того, розробка нових методів стиснення відео на основі вейвлет-аналізу є активною галуззю досліджень. Ці методи включають вдосконалення алгоритмів квантування, кодування і декодування, а також розробку нових адаптивних стратегій тиснення, які можуть забезпечити вищу ефективність стиснення і кращу якість зображення. Наприклад, використання адаптивного квантування, де квантування коефіцієнтів залежить від їхньої ваги та важливості, може покращити якість стисненого відеозображення. Крім того, розробка ефективних алгоритмів керування бітрейтом може збалансувати стиснення та якість зображення. Ще одна область досліджень - використання вейвлет-аналізу для стиснення відеозображень з високою роздільною здатністю і потокового відео. Зі зростанням популярності форматів зображень високої роздільної здатності та потокового відео важливо розробити ефективні методи стиснення, що забезпечують високу якість відтворення за обмежених ресурсів. Загалом теоретичні аспекти стиснення зображень і методи вейвлет-аналізу відіграють важливу роль у досягненні високого рівня стиснення відео при збереженні якості зображення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						29
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Дослідження в цій галузі спрямовані на пошук найкращих методів стиснення, які гарантують високоякісне відтворення зображення з мінімальними внутрішніми компонентами.

Одним із способів підвищення ефективності стиснення відеозображення є розробка алгоритму спрямованого квантування, який може кодувати вектори руху відеопослідовності.

Це забезпечить збереження інформації про рух за допомогою мінімальної кількості бітів. Іншим ефективним елементом рельєфного стиснення відео є виконання предиктивного кодування на попередньому кадрі і перенесення лише зміненої інформації на новий кадр.

Що стосується вейвлет-аналізу, то його використання в стисненому відеозображенні має свої переваги. Він може розкласти відеопослідовності на різні частотні складові та ефективно кодувати різні рівні деталізації. Вейвлет-аналіз також підходить для роботи зі змінними об'єктами в кадрі і забезпечує високу стабільність якості.

Однак важливо розуміти обмеження вейвлет-аналізу. Використання великої кількості вейвлет-коефіцієнтів збільшує обсяг даних і обчислювальне навантаження. Для забезпечення ефективності стиснення можна використовувати методи квантування і кодування, щоб відкинути менш важливі коефіцієнти і зменшити обсяг даних.

Таким чином, теоретичні аспекти стиснення зображень і методи вейвлет-аналізу слугують важливим підґрунтям для розроблення ефективних алгоритмів стиснення зображень. Дослідження в цій галузі спрямовані на покращення якості стисненого зображення, зменшення об'єму даних, ефективну передачу та зберігання відеоінформації. Використання методів стиснення відеозображення, включно з вейвлет-аналізом, вимагає компромісу між стисненням і якістю. Вибір найбільш підходящого методу стиснення залежить від конкретних вимог і обмежень програми.

Для деяких завдань можна максимізувати якість зображення, в той час як для інших - мінімізувати обсяг даних.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						30
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вейвлет-аналіз - потужний і широко використовуваний метод обробки відеозображень. Він заснований на математичному інструменті, званому вейвлет-перетворенням, який дає змогу одночасно виявляти інформацію про сигнали в часовій і частотній областях.

Вейвлет-аналіз розбиває відео на невеликі піксельні блоки і застосовує вейвлет-перетворення до кожного блока для отримання коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Існує кілька основних методів вейвлет-аналізу, які зазвичай використовуються для стисненого відео. Деякі з них наведені нижче:

Дискретне вейвлет-перетворення (DWT): дискретне вейвлет-перетворення розкладає вхідний сигнал на різні рівні роздільної здатності за допомогою вейвлет-функцій. Цей метод дозволяє наближено представити сигнал і забезпечує детальне представлення сигналу на кожному рівні роздільної здатності.

Наближений сигнал зберігає низькочастотну інформацію, тоді як детальний сигнал містить високочастотні деталі. Вейвлет-коефіцієнти можуть бути стиснуті або відкинуті для отримання найкращого зображення.

Зсувне вейвлет-стиснення: цей метод використовує вейвлет-перетворення, але додає зсув до вейвлет-функції. Цей зсув робить вейвлет-коефіцієнти більш гладкими та регуляризованими.

Вейвлет-стиснення з кодуванням довжини циклу: цей метод поєднує вейвлет-перетворення та кодування довжини відрізка для досягнення високого ступеня стиснення.

Після застосування вейвлет-перетворення коефіцієнти вейвлет-перетворення групуються в руни (набори однакових значень).

Замість того, щоб кодувати кожен коефіцієнт окремо, використовується довгоциклічне кодування для зберігання інформації про кількість наступних коефіцієнтів з однаковим значенням.

Це дозволяє ефективно стискати відеодані з повторюваними візерунками та структурами.

Векторне квантування вейвлет-стиснення: цей метод стискає відеодані за допомогою векторного квантування вейвлет-перетворення. Вейвлет-перетворення застосовується до блоку пікселів, а вейвлет-коефіцієнти квантуються за допомогою векторного квантування. Векторне квантування замінює блок пікселів наближеним кодовим вектором відповідного індексу. Це забезпечує високу стабільність завдяки заміні найменших значень пікселів одним кодовим вектором.

Вейвлет-стиснення зі змінним бітрейтом: цей метод використовує вейвлет-перетворення, але змінює бітрейт незалежно від стабільності сцени. Детальні, динамічні зображення вимагають високого бітрейту для збереження якості зображення, тоді як менші, складніші зображення можна стискати з меншим бітрейтом. Цей метод ефективно використовує доступну пропускну здатність мережі і підтримує високу якість зображення для значної частини відеозображення. [1-5]

Кожен із цих методів вейвлет-аналізу має свої переваги та недоліки. Дискретне вейвлет-перетворення просте в реалізації та забезпечує ефективну стійкість, але при цьому можуть бути втрачені невеликі фрагменти відео.

Вейвлет-стиснення зі зсувом дає змогу отримати більш гладкі вейвлет-коефіцієнти і зменшити артефакти, але вимагає великих обчислювальних витрат. Вейвлет-стиснення з кодуванням у часі виконання підходить для сцен з повторюваними патернами, але може призвести до втрати деталей в інших типах сцен. Вейвлет-стиснення з використанням векторного квантування дає змогу досягти високої міцності, але може погіршити якість зображення.

Вейвлет-стиснення зі змінною швидкістю передачі даних - ефективний спосіб зберегти якість відеозображень незалежно від стабільності сцени.

Вибір методу вейвлет-аналізу для тиснення відеозображення залежить від конкретних вимог проєкту, якості зображень, обчислювальних обмежень і доступної пропускну здатності.

Розуміння переваг і недоліків кожного методу допоможе вам вибрати найбільш підходящий для вашого застосування.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						32
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Один із способів порівняти ефективність методів вейвлет-аналізу - врахувати якість складеного відео та ступінь стиснення.

Якість складеного відео можна оцінити за допомогою таких показників, як піксельна помилка (PSNR), структурна схожість (SSIM) або якість сприйняття людиною. Коефіцієнт стиснення можна виміряти за кількістю бітів, що залишилися для збереження стисненого зображення по відношенню до початкового розміру відеозображення. [10,7]

При порівнянні методів вейвлет-аналізу також важливо визначити обчислювальну складність. Деякі методи є більш дорогими з точки зору обчислювальних ресурсів і можуть не підходити для обмежених пристроїв або вимог реального часу. Крім того, контекст застосування також впливає на вибір методу вейвлет-аналізу. Наприклад, якщо основною вимогою є забезпечення максимального стиснення при заданій якості зображення, метод зміщеного вейвлету може бути відповідним вибором. З іншого боку, якщо важлива точність деталей, може бути доречним метод вейвлет-стиснення з векторним квантуванням. Загалом, методи вейвлет-аналізу пропонують різні підходи до стиснення відео з широким діапазоном компромісів між якістю зображення, стисненням і обчислювальною складністю.

Вибір конкретного методу повинен ґрунтуватися на конкретних потребах відеопроєкту і відповідати вимогам до якості зображення, ступеня стиснення, обчислювальних ресурсів і можливостей системи. Важливо експериментувати і порівнювати різні методи вейвлет-аналізу, використовуючи відповідні метрики та оцінки якості, щоб знайти найкраще рішення для конкретної ситуації.

На додаток до вищезгаданих методів, в нашій країні також доступні інші передові методи вейвлет-аналізу, такі як вейвлет-упаковка, багатомасштабний аналіз і вейвлет-дерева.

Ці методи покращують ефективність стиснення відео і можуть бути використані для вирішення конкретних завдань, таких як виявлення об'єктів і стиснення зображень з широким динамічним діапазоном.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

Вейвлет-аналіз є одним з інструментів в індустрії відеозображень і використовується в широкому спектрі застосунків, як-от потокове відео, зберігання відео та передача відео мережею.

У міру розвитку технологій методи вейвлет-аналізу продовжують удосконалюватися, відкриваючи нові можливості для ефективного опрацювання зображень і підвищення їхньої якості.

1.5. Практичні задачі в галузі вимірювань та контролю, що можуть бути вирішені на основі вейвлет перетворення та стиснення відеозображень.

Широкий динамічний діапазон (HDR) стає дедалі популярнішим у виробництві відео, оскільки він забезпечує вищу яскравість і насиченість кольорів, створюючи більш реалістичні та яскраві зображення.

Однак передача HDR-відео вимагає більшої пропускної здатності та обсягу даних, а стиснення відео з високодинамічною графікою створює певні труднощі. Нарешті, основним аспектом стиснення відеозображення є питання ефективності при обробці та передачі великих обсягів даних. Апаратне прискорення, паралельна обробка та використання оптимізованих алгоритмів дозволяють швидко та ефективно обробляти відеодані.

Таким чином, теоретичні аспекти стиснення зображення включають в себе широкий спектр концепцій, методів і прийомів, спрямованих на зменшення обсягу відеоінформації без значної втрати якості.

У цьому розділі описано основні принципи стиснення зображень, такі як стиснення без втрат і з втратами, а також такі важливі методи, як покадрове кодування, предиктивне кодування та ієрархічне стиснення. Далі ми розглянемо методи вейвлет-аналізу, що використовуються для стиснення відео.

Вейвлет-аналіз ґрунтується на розкладанні сигналу за різними масштабами, часовими і просторовими частотами. Цей метод дає змогу відображати відеодані у вигляді підсилень, отриманих із мінімальною втратою якості. За допомогою вейвлет-аналізу можна домогтися більш ефективного стиснення відео і зберегти важливі деталі.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						34
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Також зрозуміло, що стиснення зображення не є статичним процесом, і методи стиснення постійно розвиваються з розвитком технологій.

Також були визначені перспективні напрямки досліджень, такі як використання штучного інтелекту, машинного навчання і глибокого навчання, які можуть підвищити ефективність і якість стиснення зображення.

Ми також розглянули вплив нових тенденцій, таких як адаптивне потокове передавання, широкий динамічний діапазон (HDR) та оптимізація для обмежених ресурсів. Ці тенденції відкривають нові можливості для покращення досвіду перегляду відео та адаптації до різних середовищ. [3-5]

Одним з найпоширеніших стандартів стиснення відео є H.264/AVC, який використовується для стиснення високоякісних зображень з мінімальними втратами. H.264/AVC використовує такі методи, як міжкадрове кодування, предиктивне кодування, просторову субдискретизацію і тактову субдискретизацію для ефективного стиснення зображення.

Іншим важливим стандартом є H.265/HEVC, наступник H.264/AVC. H.265/HEVC забезпечує більш ефективне стиснення зображення з меншою пропускну здатністю. Він використовує багато інноваційних технологій, таких як сегментація блоків, гнучкі адаптивні кадри, покращені динамічні характеристики і більш потужні алгоритми стиснення. [4; 21; 23; 35]

Крім H.264/AVC і H.265/HEVC, існують інші стандарти, які використовуються в різних сценаріях і на різних пристроях, наприклад,

MPEG-2, MPEG-4, VP9 і AV1. Кожен з цих стандартів має свої особливості та переваги.

У розділі, присвяченому практичним аспектам застосування стиснення відео, корисно розглянути відеокодери та декодери, програмне та апаратне забезпечення для стиснення, а також важливі питання ефективності та якості стисненого зображення.

Крім того, ви можете розглянути питання стандартів масштабування для конкретних застосувань, таких як відеоконференції, мультимедійні системи та телевізійне мовлення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

Кожен з цих сценаріїв має специфічні вимоги до якості відео, пропускної здатності та ефективності стиснення.

У практичному застосуванні стиснення відео важливо зменшити обмеження пристроїв і мереж, на яких відтворюється стиснене зображення.

Наприклад, на мобільних пристроях спеціально оптимізовані алгоритми тиснення можуть забезпечити ефективне використання ресурсів обладнання та низьке енергоспоживання.

Однак практичний аспект стиснення зображення полягає у зменшенні розміру файлу та пропускної здатності мережі при передачі відеоданих. Для цього може знадобитися використання різних режимів стиснення або адаптивних потоків, які динамічно змінюють якість зображення відповідно до умов мережі. Важливим аспектом у практичному застосуванні стиснення зображення є вибір відповідного коду і накладання параметрів стиснення. Кожен код має свої особливості і підходить для різних сценаріїв застосування. При виборі найбільш підходящих параметрів стиснення, таких як роздільна здатність, бітрейт і рівень стиснення, також враховуються якісні та розмірні характеристики стисненого зображення.

На завершення розділу, присвяченого практичним аспектам реалізації стиснення відео, слід зазначити, що стиснення зображення - це компроміс між ресурсами (пропускною здатністю, обсягом пам'яті) і якістю зображення. При виборі параметрів стиснення необхідно збалансувати необхідність низької пропускної здатності і невеликого розміру файлів з необхідною якістю зображень. [17; 22; 34]

Крім того, з точки зору практичного стиснення відеозображення важливо підтримувати кодеки та формати відтворення на різних пристроях і платформах. Наприклад, відео, стиснене у форматі H.264/AVC, широко підтримується багатьма пристроями, але для певних сцен можуть бути обрані спеціалізовані формати, такі як VP9 для веб-браузерів або HEVC для високоякісних зображень. Слід також згадати про використання паралельної обробки та апаратного прискорення для ефективного стиснення зображень.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						36
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Сучасні процесори та графічні прискорювачі мають спеціальні функції для обчислень стиснення зображення, що прискорює обробку та підвищує ефективність стиснення.

Нарешті, практичний аспект стиснення зображення, якого бракує, - це потреби та вимоги користувачів до якості.

Різні програми, такі як потокові сервіси, відеоконференції та телевізійне мовлення, можуть мати різні вимоги до якості зображення. Враховуючи ці потреби, можна досягти оптимального балансу між якістю та ефективністю стиснення.

У наступних розділах описано конкретні методи стиснення зображення, їхнє практичне застосування та оцінку їхньої ефективності.

Одним з таких методів є аналіз вайвлет-розкладання, як описано вище.

Обговорюються типи вайвлет-функцій, алгоритми стиснення на основі вайвлетів, використання різних рівнів декомпозиції та відновлення сигналу, а також способи підвищення ефективності стиснення.

Також можуть бути проаналізовані методи кадрового кодування, які можуть оцінювати і кодувати відмінності між послідовними кадрами.

Сюди можна віднести такі методи, як міжкадрове кодування (IFC) і використання компенсації руху, яка передає рух об'єктів у зображенні і кодує лише зміни, що відбуваються між кадрами.

Також можна розглянути ієрархічні схеми стиснення, які поділяють зображення на рівні деталізації та кодують їх ієрархічно.

Це забезпечує більш ефективне стиснення, зберігаючи більше деталей у важливих частинах і жертвуючи меншою деталізацією у менш важливих частинах.

Крім того, дослідження можуть використовувати штучний інтелект (ШІ), машинне навчання та глибоке навчання для покращення відеореальності: Застосовуючи ШІ, можна створити складні взаємозв'язки між відеоданими і застосувати більш точні методи прогнозування,

що дасть змогу досягти більш ефективного стиснення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						37
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Можна проводити експерименти для оцінки ефективності різних методів пошуку і порівнювати такі метрики, як PSNR (пікове співвідношення сигнал/шум), ці метрики дозволяють оцінити якість стисненого зображення в порівнянні з оригінальним нестисненим зображенням.

Після вивчення та аналізу різних методів стиснення зображень та їхньої ефективності можна розробити спеціальні алгоритми стиснення, які можуть включати комбінації різних методів та оптимальні параметри стиснення.

Розроблені алгоритми можна протестувати та порівняти з існуючими стандартами та кодеками, використовуючи встановлені метрики якості.

Важливо також розглянути можливість реалізації алгоритмів тиснення зображення в різних середовищах і на різних пристроях.

Розроблені алгоритми повинні бути ефективними з точки зору обчислювальних ресурсів і пам'яті та підтримуватися на різних платформах і пристроях. Після того, як алгоритм стиснення зображення розроблено та реалізовано, його слід протестувати та підтвердити, використовуючи різноманітні відеодані з різними характеристиками. Це гарантує, що розроблені алгоритми працюють ефективно і забезпечують задовільну якість стиснення зображення в різних сценаріях.

1.6. Тенденції розвідку методів стиснення

Технології стиснення даних швидко розвиваються, щоб відповідати вимогам сучасного цифрового світу - збільшення мультимедійних даних, таких як відео 4K і 8K, VR/AR-контент і дані Інтернету речей, вимагає інноваційних підходів для забезпечення ефективності, збереження якості і зниження витрат на зберігання і передачу.

Нейромережеве стиснення

Штучний інтелект і програми глибокого навчання: нейронні мережі, такі як автокодери, GAN і конвертери, пропонують новий підхід до стиснення зображень і відео.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						38
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Великі набори даних дозволяють мережам оптимізувати алгоритми стиснення, зберігаючи важливі деталі контенту.

Переваги нейромережевого стиснення: висока адаптивність до різних типів контенту. Покращена якість відновлення даних при однаковому ступені стиснення.

Приклади застосування: розробка кодеків на основі ШІ, таких як Google Lyra і Facebook AI Compression.

Удосконалення традиційних кодеків

Новий стандарт стиснення відео: H.266/VVC (Versatile Video Coding) підвищує ефективність стиснення до 50%, зберігаючи таку ж якість, як і H.265 AV1, оптимізований для передачі відео через мережі Відкритий стандарт для потокових платформ. Адаптивне стиснення: використовує інтелектуальний підхід для визначення найкращих параметрів стиснення на основі типу контенту, наприклад, текстури та руху.

Стиснення для нових форматів

3D та VR/AR контент: розроблено алгоритми стиснення для зменшення розміру даних об'ємних моделей, хмар точок і 3D-об'єктів з мінімальною втратою якості. Висока роздільна здатність: Розробляються алгоритми для ефективної обробки відео форматів 4K і 8K. Голографічний контент: нові стандарти для стиснення великих обсягів даних, що використовуються в голографічному відео.

Енергоефективність методів стиснення

Оптимізація енергоспоживання: зростання складності алгоритмів стиснення вимагає розробки енергоефективних рішень. Спеціалізовані апаратні рішення: використання графічних процесорів і ПЛІС для зменшення енергоспоживання під час стиснення; енергоефективні алгоритми для пристроїв з обмеженими ресурсами, таких як IoT.

Стиснення для потокової передачі

Адаптація до нестабільних мереж: алгоритми, які автоматично підлаштовуються під пропускну здатність мережі (адаптивне потокове

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		39

передавання). Зменшення затримок: вдосконалені методи стиснення відео в реальному часі, що використовуються в потокових сервісах.

Стиснення у хмарних сховищах

Оптимізація передачі даних: використання стиснення для зменшення обсягу даних, що передаються між хмарною платформою та кінцевим користувачем.

Стиснення з одночасним шифруванням: впровадження алгоритмів, які стискають дані, захищаючи їх під час передачі.

Комбіновані підходи

Поєднання методів: інтеграція традиційних алгоритмів стиснення та нейронних мереж для максимальної ефективності. Адаптивність до мультимедійного контенту: використання різних методів стиснення для різних компонентів, таких як фони, текстури та динамічні елементи.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						40
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА МЕТОДУ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ З ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ.

2.1. Стиснення цифрового відеозображення на основі вейвлет-перетворення.

Стандартним методом стиснення цифрових відеозображень на основі вейвлет-перетворення є JPEG-2000, який наразі вважається найкращим методом стиснення відео і значно перевершує найпоширеніший метод JPEG з точки зору ефективності стиснення.

У цьому методі цифрові відеозображення піддаються вейвлет-перетворенню, а отримані вейвлет-коефіцієнти обробляються для отримання коефіцієнта стиснення, що значно перевершує вихідне відеозображення. З іншого боку, вейвлет-перетворення і обробка коефіцієнтів дуже складні і вимагають великих обчислювальних потужностей. Тому JPEG-2000 використовується, коли для стисненого відеозображення потрібна найвища якість, а час стиснення не є критичним. У цьому контексті великий інтерес представляє пошук шляхів покращення часових характеристик вейвлет-перетворення. [29-30]

Алгоритм перетворення цифрових відеозображень на основі системи JPEG-2000 виглядає таким чином. До вихідного цифрового відеозображення застосовується дискретне вейвлет-перетворення з певним числом рівнів розкладання. Дискретне вейвлет-перетворення являє собою фільтрацію рядків (або стовпців) вихідного відеозображення двома вейвлет-фільтрами. Це FIR-фільтри, фільтр низьких частот L і фільтр високих частот H .

Оскільки частотний діапазон відеосигналу після фільтрації зменшується вдвічі, то за теоремою Котельникова відфільтровані дані можна зменшити вдвічі, тобто усунути всі подвійні коефіцієнти.

Потім з отриманих компонент складається новий рядок, як показано на рис.

2.1.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{x} \\
 \boxed{x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad x_5 \quad x_6} \\
 \\
 l_i = \sum_j L_j x_{j-i} \quad h_i = \sum_j H_j x_{j-i} \\
 \\
 \boxed{l_1 \quad l_2 \quad l_3} \quad \boxed{h_1 \quad h_2 \quad h_3} \\
 \\
 \begin{array}{cc}
 L & H \\
 \boxed{l_1 \quad l_2 \quad l_3} & \boxed{h_1 \quad h_2 \quad h_3}
 \end{array}
 \end{array}$$

Рис. 2.1. Вейвлет-перетворення одновимірного сигналу

Для двовимірних сигналів існує двовимірне вейвлет-перетворення. Однак його дуже складно реалізувати і на практиці зазвичай замінюють двома одновимірними перетвореннями. Така заміна не зменшує ступінь стиснення, але значно спрощує фільтрацію: У випадку з 1D спочатку фільтруються рядки, а потім стовпчики. Відеозображення розбивається на чотири частини (рис. 2.2).

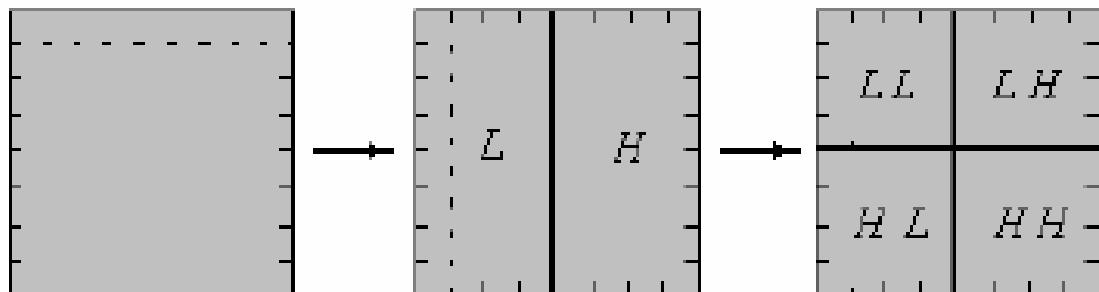


Рис. 2.2. Фільтрація двовимірного відеосигналу цифрового відеозображення

Потім ця ж процедура застосовується лише до частини фільтра, відфільтрованої фільтром нижніх частот. Цей алгоритм називається алгоритмом Малла (рис. 2.3).

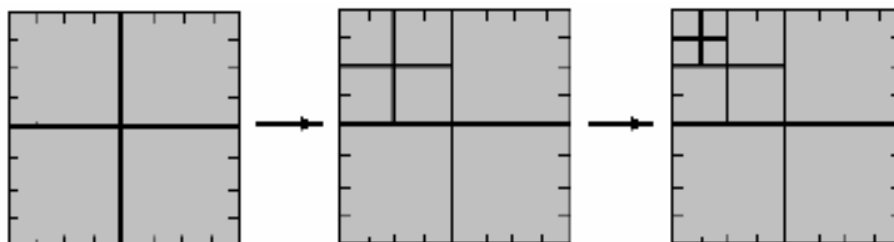


Рис. 2.3. Алгоритм Малла

Результат вейвлет-перетворення представлено на рис. 4.4.

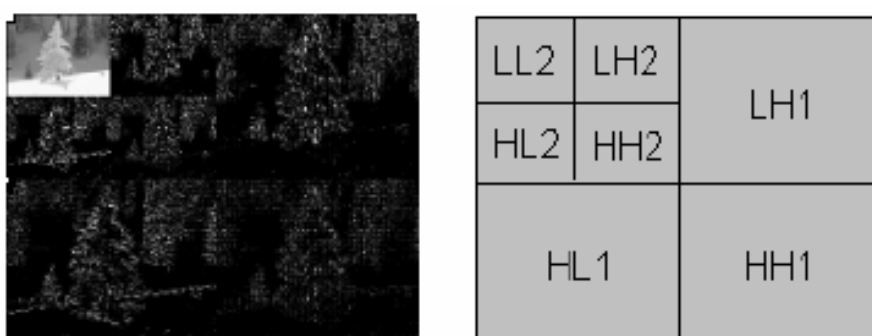


Рис. 2.4. Результат вайвлет-перетворення

У цьому прикладі показано дворівневе вейвлет-перетворення. Верхня ліва частина відеозображення відфільтрована лише фільтром низьких частот і є пом'якшеною, зменшеною копією оригінального зображення. Решта відеозображення фільтрується як низькочастотними, так і високочастотними фільтрами. Видно великі області з вейвлет-коефіцієнтами, близькими до нуля, і деякі яскраві елементи, що свідчить про різку зміну яскравості оригінального відеозображення. Ця частина зображення дуже добре підходить для стиснення, навіть за допомогою звичайних алгоритмів. Насправді, основною метою вейвлет-перетворення є отримання великої кількості нульових коефіцієнтів, а саме перетворення не забезпечує ніякого стиснення. [41]

Дворівневе вайвлет-перетворення є оптимальним з точки зору співвідношення якості-складності реалізації. Значне збільшення кількості рівнів

не призводить до помітного підвищення ефективності стиснення і суттєво збільшує складність алгоритму.

Після перетворення коефіцієнти оцифровуються. На етапі квантування втрачається основна інформація, і квантування значно погіршує представлення відеозображення. Квантування може бути рівномірним скалярним квантуванням або складним квантуванням, таким як векторне квантування. У випадку рівномірного скалярного квантування його параметри залежать від діапазону квантування.

Потім виконується послідовне кодування всіх частотних блоків LL2, LH2 і т.д. Це кодування здійснюється за допомогою арифметичного методу з імовірнісною моделлю і виконується в наступному порядку: 1) визначається розрядність коефіцієнтів блоку за формулою

$$N_{\max} = \text{ceil}(\log_2(C_{\max})),$$

де $C_{\max}$ - максимальний за модулем коефіцієнт.

2) у всіх коефіцієнтів кодуються біти на місці $N_{\max}$, потім $N_{\max}-1$ тощо.

Цей метод називається біт-площинним кодуванням, і в алгоритмі JPEG-2000 кожна бітова площина кодується в три етапи: перехід значущості, уточнення та очищення (рис. 2.5). Імовірнісна модель арифметичного кодування використовує той факт, що блокові коефіцієнти не рівномірно перемішані, а сконцентровані в певних областях, і значення біта, що кодується, можна визначити, враховуючи значення кінцевого вейвлет-коефіцієнта.

Особливістю JPEG-2000 є оптимізований метод усікання. Біти кодуються послідовно від значення до найменшого значущого біта (LSB), а закодовані дані не відразу надсилаються у вихідний потік, а зберігаються в пам'яті. Після кодування всіх блоків у пам'яті залишається набір закодованих даних (у випадку дворівневого вейвлет-перетворення цей набір складається з семи елементів). Завдання цього методу полягає в оптимізації довжини елементів для забезпечення необхідного коефіцієнта стиснення і в той же час у виборі співвідношення довжини елементів, яке мінімізує середньоквадратичну похибку стиснення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						44
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

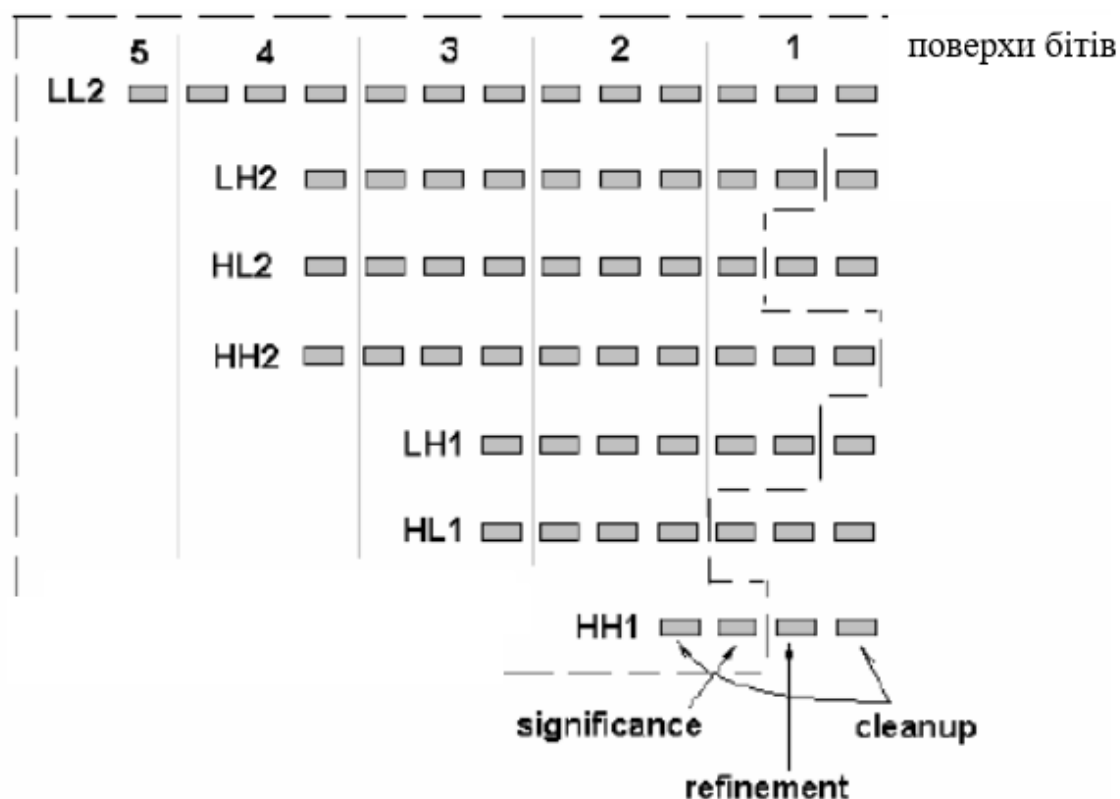


Рис. 2.5. Оптимізація довжин закодованих даних

У пам'яті зберігаються лише ті дані, які забезпечують найкращу якість відеозображення, стиснутого із заданим коефіцієнтом стиснення.

Представлення інформації, отриманої в результаті вейвлет-перетворення, є дуже корисним, оскільки дозволяє отримати наближену копію відеозображення без необхідності виконувати повне обернене перетворення. Зворотне перетворення виконується у зворотному порядку до прямого перетворення. Виконуючи обмежену кількість зворотних перетворень (комбінацій частотних смуг) і припускаючи, що всі частотні смуги, які не беруть участі в перетворенні, містять тільки нульові елементи, можна легко отримати зменшену копію або відновлене відеозображення, але в порівнянні з відеозображенням, отриманим в результаті точного зворотного перетворення, якість зображення буде ще гіршою.

Враховуючи той факт, що блоки вейвлет-коефіцієнтів кодуються незалежно один від одного, можливість часткового декодування може бути досягнута не тільки на рівні перетворення, але і на рівні інтерпретації коду.

Для отримання наближеної копії відеозображення необхідно лише декодувати частину інформації та виконати часткове обернене перетворення.

Таким чином, формат зберігання відео забезпечує масштабованість як за роздільною здатністю, так і за якістю.

Ще однією важливою перевагою цього методу є те, що доступ до окремих елементів можна отримати без необхідності повного декодування представлення відеозображення. Це досягається, по-перше, розбиттям вихідного відеозображення на області, що не перекриваються, і кодуванням їх як окремих відеозображень, а по-друге, представленням кодів окремих областей у вигляді фрагментів (шарів). Зауважимо, що шари також поділяються на псевдопакети, що містять коди блоків коефіцієнтів на різних рівнях декомпозиції. Для декодування довільної області відеозображення достатньо визначити її положення на площині відеозображення і в якому шарі цієї області містяться коди блоків коефіцієнтів, необхідних для відновлення цієї області.

Звичайно, відображення відеозображень у такий спосіб не є вигідним з точки зору ефективності стиснення. Насправді, ефективність стиснення дещо знижується зі зменшенням розміру структурних елементів. У цьому випадку стандарт JPEG-2000 не перешкоджає створенню інформаційних представлень, ефективних з точки зору обсягу стиснутих даних, зберігаючи при цьому можливість інформаційних представлень, що дозволяють швидко витягувати і редагувати частини відеозображення.

Кольорові цифрові відеозображення містять кілька компонентів одночасно. У більшості випадків вони складаються з трьох компонентів: червоного R, зеленого G і синього B.

Вищої ефективності стиснення можна досягти, якщо компоненти, що підлягають кодуванню, представлені яскравими кольорами.

Відеозображення конвертуються зі стандартного кольорового представлення RGB в кольорове представлення YCrCb (яскравість і насиченість); стандарт JPEG-2000 визначає процедуру розрахунку для цього перетворення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						46
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для того, щоб на представлення інформації не впливали шуми і щоб дані були легкодоступними, стандарт JPEG-2000 передбачає систему маркерів і маркерних сегментів.

Маркери слугують для розмежування потоку інформації, а маркерні сегменти містять параметри фрагментів інформації, що містяться в маркері. Дані, що починаються з маркера, зазвичай можна точно інтерпретувати без додаткової інформації, що дозволяє частково відновити пошкоджені відеозображення. З додаванням коефіцієнта завадостійкості ця схема стиснення може бути використана для телекомунікаційних застосувань.

2.2. Оцінка похибок вимірювальної інформації на відеозображеннях, відновлених після стиснення

Роботу алгоритму стиснення JPEG-2000 розглянемо на конкретному прикладі, пов'язаному з стисненням цифрових відеозображень промислових виробів з різних видів деревини (рис. 3.6).



а)



б)



в)



г)

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		47



д)

Рис. 2.6. Відеозображення поверхні промислових виробів з деревини:

- а) зображення №1; а) зображення №1; б) зображення №2;
в) зображення №3; г) зображення №4; д) зображення №5

Одним з найважливіших способів зменшення розміру відеозображень (тобто їх стиснення) є вибір параметрів роздільної здатності, які найкраще відповідають яскравості, кольору та просторовим характеристикам елементів відеозображення. Збільшення цих параметрів за межі видимих для людського ока значень призведе лише до збільшення обсягу відеозображення без покращення його якості. З іншого боку, при вимірюванні ГП об'єкта значення цих параметрів повинні бути обрані таким чином, щоб забезпечити необхідну точність вимірюваної відеоінформації.

Основним параметром алгоритму стиснення є таблиця квантування частотних коефіцієнтів, отримана за допомогою вейвлет-перетворення.

Змінюючи елементи цієї таблиці, можна змінювати ступінь стиснення.

Це також впливає на точність відтворення відеозображення після стиснення.

Розглянемо критерії оцінки похибки відновленої після стиснення вимірювальної інформації. Оскільки інформація, що становить інтерес, може бути втрачена в цьому процесі, бажано мати засоби для кількісної оцінки характеру і величини втрати інформації.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						48
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таке судження може ґрунтуватися як на суб'єктивних, так і на об'єктивних числових критеріях вірності (точності) реконструкції.

Основним критерієм є середньоквадратичне відхилення різниці між оригінальним і відновленим відеозображенням. Нехай $f(x, y)$ означає початкове відеозображення, а $\bar{f}(x, y)$ – його наближення, що отримується в результаті операцій стиснення і наступного відновлення. Для будь-яких x та y помилка (нев'язка) $e(x, y)$ для елементів відеозображень $f(x, y)$ і $\bar{f}(x, y)$ визначається як

$$e(x, y) = \bar{f}(x, y) - f(x, y)$$

а величина повної невідповідності двох відеозображень дорівнює

$$\|e(x, y)\| = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\bar{f}(x, y) - f(x, y)]^2,$$

де розміри відеозображення дорівнюють $M \times N$. Величина середньоквадратичного відхилення $e_{СКВ}$ різниці відеозображень $f(x, y)$ і $\bar{f}(x, y)$ буде дорівнює:

$$e_{CKO} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\bar{f}(x, y) - f(x, y)]^2 \right]^{1/2}.$$

Іншим об'єктивним критерієм вірності відтворення є співвідношення «сигнал-шум» для відновленого відеозображення. Якщо розглядати відновлене відеозображення $\bar{f}(x, y)$ як суму початкового відеозображення $f(x, y)$ і шуму $e(x, y)$, доданого результаті стиснення, то співвідношення «сигнал-шум» буде дорівнювати:

$$SNR_{CK} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\bar{f}(x, y)]^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\bar{f}(x, y) - f(x, y)]^2}$$

2.3. Переваги та недоліки Wavelet-стиснення.

Переваги вейвлет-стиснення відеозображень

1. **Багатовимірність.** Однією з головних переваг вейвлет-стиснення зображень є можливість відображати як просторову, так і частотну інформацію на зображенні. Вейвлет-перетворення дозволяють аналізувати зображення в різних масштабах і виявляти деталі з різною роздільною здатністю. Це дозволяє кодувати і стискати зображення більш ефективно, зберігаючи при цьому більше деталей, ніж інші методи стиснення.

2. **Прогресивне завантаження.** Вейвлет-стиснення зображень підтримує прогресивне завантаження. Це означає, що зображення можна переглядати з низькою роздільною здатністю, а якість зображення можна підвищити до повної роздільної здатності. Таким чином, користувачі можуть швидко отримати приблизне уявлення про зображення і покращити його якість, не чекаючи повного завантаження.

3. **Компроміс між просторовою та часовою складністю.** Вейвлет-стиснення зображень балансує просторову та часову складність. Це підвищує обчислювальну ефективність при збереженні якості зображення. Це особливо важливо при обробці великих зображень або потокових даних у реальному часі.

4. **Вейвлет-стиснення зображень має чітку структуру.** Це полегшує відновлення зображення після стиснення. Кожен піксель вейвлет-зображення стіни можна відновити до певного рівня за допомогою зворотного вейвлет-перетворення.

Це зберігає якість зображення після стиснення і робить його відновлення простішим і швидшим. [10; 13; 25]

Недоліки вейвлет-стиснення відеозображень

1. **Обчислювальна інтенсивність.** Вейвлет-стиснення зображень вимагає набагато більше обчислювальних ресурсів, ніж методи стиснення з використанням, наприклад, DCT (дискретного косинусного перетворення). Процес вейвлет-перетворення є обчислювально інтенсивним, особливо для великих зображень.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						50
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Це може бути проблемою, особливо при обробці зображень у реальному часі.

2. Чутливість до шумів. Вейвлет-стиснення зображень чутливе до шуму, особливо при використанні вейвлет-перетворень високої роздільної здатності. Шум може впливати на якість зображення та його відновлення, включаючи артефакти та втрату деталей. Для зменшення цього ефекту можна використовувати методи попередньої обробки зображень і фільтрації шуму.

3. Втрати без втрат. Більшість вейвлет-методів стиснення зображень працюють без втрат. Ці втрати є незначними і можуть бути непомітними для людського сприйняття, але можуть впливати на деякі програми.

Вибір найкращого вайвлету стиснення зображень на основі вайвлетів вимагає вибору найкращого типу вейвлету для певного типу зображення або завдання. Різні вайвлети мають різні властивості, які можуть бути більш або менш ефективними для різних зображень певного типу. Вибір неправильного вайвлету може призвести до недостатньої надійності або неякісного виправлення помилок. [25;28]

Втрата просторової інтерпретації Стиснення вейвлет-зображень, особливо під час використання більш агресивних методів стиснення, може призвести до втрати просторової інтерпретації. Це означає, що деталі та структура зображення втрачаються або спотворюються в процесі стиснення, що може бути неприйнятним для деяких компонентів, де точність інтерпретації є критично важливою.

Вейвлет-стиснення зображень має такі переваги, як багатовимірність і прогресивне завантаження, але має такі недоліки, як дорожнеча обчислень і сприйнятливості до шуму. Тому стиснення вимагає критичного підходу при виборі оптимального методу і параметрів для конкретного завдання стиснення зображень. Вейвлет-стиснення зображень може бути чутливим до масштабування і зміни розмірів зображень. Зміна розміру або зсув зображень до і після стиснення може погіршити якість зображення і спричинити артефакти на відновленому зображенні.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						51
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для мінімізації цього ефекту можна використовувати методи декомпресії вайвлет-коефіцієнтів або методи, які адаптують стиснення до змін масштабу.

Складність відновлення частин зображення: вейвлет-стиснення може бути не дуже ефективним, коли потрібно відновити певні частини зображення, наприклад, для редагування або медичної діагностики. Часткове відновлення зображення вимагає декодування і відновлення всього зображення, що займає багато часу і вимагає значних обчислювальних витрат. Вплив вибірки та квантування: під час вайвлет-стиснення на пікселі зображення впливають вибірка та квантування, що призводить до втрати точності та деталізації. Невідповідні розміри вибірки або неправильні схеми квантування можуть спричинити помітні артефакти та погіршити якість відновленого зображення. [29; 32]

Обробка кольорових відеозображень: Вейвлет-стиснення кольорових відеозображень може бути складним процесом, оскільки враховує не лише яскравість, але й кольорову складову. Вейвлет-стиснення можна виконувати окремо для різних каналів кольорового відеозображення.

Використовуйте методи просторово-часового або частотно-часового аналізу кольорових компонентів. Це може збільшити обчислювальну складність та ресурсоемність обробки кольорових зображень.

Відсутність універсальних методів: не існує універсального методу вейвлет-стиснення зображень, який би підходив для всіх типів зображень і вимог. Вибір підходу та параметрів стиснення залежить від конкретних вимог, типу зображення та контексту застосування. Тому для досягнення оптимальних результатів стиснення можуть знадобитися подальші дослідження та експерименти.

Вейвлет-стиснення зображень є поширеним методом стиснення, який, незважаючи на свої недоліки, пропонує компроміс між стисненням і відновленням якості зображення. Важливо вибрати метод вейвлет-стиснення, проаналізувати його параметри відповідно до ваших конкретних потреб і обмежити завдання стиснення зображень.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						52
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Чутливість до різних типів зображень: вейвлет-стиснення зображень працює по-різному для різних типів зображень. Деякі зображення, такі як текстуровані зображення або зображення з великою кількістю дрібних деталей, можна стискати за допомогою вейвлет-перетворень. Однак для інших типів зображень з плавними переходами або великими однорідними ділянками інші методи стиснення можуть бути більш ефективними.

Однак вибір балансу між стисненням і якістю є суб'єктивним процесом і залежить від вимог конкретного застосування. Занадто агресивне ущільнення може призвести до появи помітних артефактів і втрачених ділянок, тоді як недостатньо ефективне ущільнення не забезпечує значного економічного ефекту.

Ефекти вейвлет-стиснення зображень не залежать від роздільної здатності ефекти покращення якості зображення при вейвлет-стисненні не залежать від роздільної здатності.

Для зображень високої роздільної здатності з великою кількістю дрібних деталей вейвлет-стиснення є більш ефективним.

Однак для зображень низької роздільної здатності з плавними переходами ефективнішими є інші методи стиснення.

Вейвлет-стиснення може призвести до непотрібних спотворень і артефактів на зображеннях низької роздільної здатності. Це пов'язано з концентрацією уваги на дрібних деталях, які можуть бути втрачені або спотворені. Обчислювальна складність: вейвлет-стиснення зображень вимагає значних обчислювальних ресурсів, особливо для великих зображень і складних компонентів.

Вейвлет-стиснення, квантування, кодування та декодування вимагають значних обчислювальних зусиль, особливо коли використовуються складні вейвлет-функції та методи стиснення. Це може бути обмеженням для обладнання з обмеженими ресурсами або там, де потрібна висока швидкість роботи.

Чутливість до шуму: вейвлет-стиснення зображень може бути чутливим до шуму на зображенні.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						53
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Навіть невеликі рівні шуму спотворюють вейвлет-коефіцієнти і погіршують якість відновленого зображення. Це особливо помітно при використанні агресивних методів стиснення. Для компенсації цього ефекту можна використовувати методи фільтрації та додаткові методи, які покращують якість зашумлених зображень.

Перш ніж застосовувати вейвлет-стиснення зображень у конкретній ситуації, важливо ретельно оцінити його переваги та недоліки. Враховуючи характеристики зображення, вимоги до якості та ресурси, можна прийняти обґрунтоване рішення щодо того, який метод стиснення зображення - вейвлет чи інший - забезпечить найкращі результати.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						54
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДОМ ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ

3.1. Теоретичні аспекти методу Фур'є перетворення

Метод перетворення Фур'є - це математичний інструмент, який використовується для розкладання функції на прості гармонічні складові, тобто високочастотні синусоїдальні функції. Цей метод широко використовується в аналізі сигналів, обробці зображень, дослідженнях вібрацій та інших фізичних та інженерних додатках. Теоретична основа методу Фур'є включає основні поняття, формули та перетворення властивостей, які дозволяють ефективно обробляти функції в частотній області.

Основні поняття та функції:

Перетворення Фур'є - це математичний метод, який дозволяє розкласти функцію $f(t)$, визначену в часі або просторі, на її частотні складові. Важливою особливістю перетворення Фур'є є те, що воно перетворює функцію з часової області в частотну.

Основна функція перетворення Фур'є полягає в розкладанні сигналу на гармонійні складові, що дозволяє аналізувати частотні складові сигналу. Основними функціями є

1. частотний аналіз: визначення домінуючих частот у сигналі та аналіз гармонійної структури сигналу.
2. Фільтрація сигналу: видалення високочастотних компонентів для усунення шуму.
3. Стиснення даних: стиснення гармонійних сигналів, зберігаючи лише важливі частотні компоненти.
4. Аналіз стаціонарності: використовується для перевірки того, чи є сигнал стаціонарним (тобто не змінюється з часом);
5. Спектральне представлення: Малювання спектрограми для візуалізації розподілу енергії частот у сигналі. [50,49,7]

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						55
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Застосування методів перетворення

Фур'є Методи перетворення Фур'є використовуються в різних галузях науки і техніки:

Обробка сигналів: аналіз сигналів з використанням частотного спектру для розпізнавання шуму, фільтрації сигналів і стиснення даних.

Акустика: Перетворення Фур'є виконують після аналізу звукових хвиль, наприклад, для побудови еквайзера або аналізу музичного сигналу.

Інженерія: В теорії електричних кіл Фур'є-аналіз може мати справу з фільтрами, резонансами і сигналами.

Медичні дослідження: Наприклад, МРТ та інші методи візуалізації використовують перетворення Фур'є для реконструкції зображень.

Комп'ютерні науки та цифрові технології: Використовується для обробки зображень, тиснення даних (JPEG, MP3) та аналізу повного спектру.

Завдяки своїй здатності розкласти складні функції на прості гармонійні складові, перетворення Фур'є є одним з геніальних інструментів сучасної науки і техніки.

3.2. Практичне застосування Фур'є перетворення для обробки зображення

Перетворення Фур'є є потужним інструментом в обробці зображень, оскільки дозволяє перейти від просторової області (де зображення представлені у вигляді пікселів) до частотної. Це дозволяє виконувати операції, які є складними у просторовій області, у частотній області, залишаючись при цьому простими. Перетворення Фур'є має численні застосування в обробці зображень, включаючи фільтрацію, стиснення, відновлення зображень і зменшення шуму. Розглянемо його основні практичні аспекти.

Основи Фур'є перетворення для зображення

Зображення у двовимірному просторі можна розглядати як функцію: $f(x, y)$. Де x і y - просторові координати, а $f(x, y)$ - інтенсивність пікселя в точці (x, y) . Використовуючи перетворення Фур'є,

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

зображення можна перетворити в область, де кожна точка представляє відповідну спектральну складову зображення.

Фільтрація зображення в частотній області

Одне з найпоширеніших застосувань перетворення Фур'є до зображень - фільтрація. Фільтрація змінює частотний спектр зображення, щоб видалити небажані частоти (наприклад, шум) або підкреслити інші компоненти.

Високочастотна фільтрація: високочастотні компоненти спричиняють різкі переходи, контури та шум на зображеннях. Видаляючи високочастотні компоненти, зображення можна зробити м'якшими та плавнішими. Для цього високочастотні компоненти виявляються в частотній області спектра (за допомогою фільтра високих частот). Наприклад, використовують фільтр Гауса або фільтр нижніх частот.

Низькочастотна фільтрація: Низькочастотні компоненти відповідають за основні контури і загальну форму зображення. Видаляючи низькочастотні компоненти, можна виділити високочастотні деталі або заповнити зображення в напрямку до деталей.

Приклади використання фільтрації: Перетворення зображення в частотну область за допомогою перетворення Фур'є. Застосування фільтра (наприклад, фільтра Гауса або фільтра зменшення шуму). Виконання зворотного перетворення Фур'є для отримання нового зображення;

Корекція шуму в зображенні і видалення шуму на зображенні. Оскільки більшість шумів є високочастотними, їх можна видалити за допомогою фільтрації в частотній області.

Процес видалення шуму: перетворення зображення в частотну область. Високочастотні компоненти, що спричиняють шум, видаляються шляхом фільтрації (наприклад, за допомогою фільтра низьких частот). Для відновлення очищеного зображення виконується зворотне перетворення. Цей метод ефективно зменшує такі шуми, як імпульсний шум і гаусівський шум.

Стиснення зображень: ще одним застосуванням перетворення Фур'є є стиснення зображень. Оскільки більша частина енергії в зображенні

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						57
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

зосереджена в низькочастотних компонентах, розмір зображення можна зменшити, видаливши менш важливі частоти.

Процес стиснення зображення: Перетворення Фур'є зображення виконується для вилучення його частотного спектру. Лише важливі частоти (низькочастотні компоненти) зберігаються, а неважливі частоти (високочастотні компоненти) видаляються. Зображення стискається, залишаються лише найважливіші компоненти, які можуть бути закодовані меншою кількістю бітів. Цей метод лежить в основі стандартів стиснення зображень, таких як JPEG, які поєднують перетворення Фур'є з іншими методами, такими як дискретне косинусне перетворення (ДКП).

Реконструкція зображень: Перетворення Фур'є також використовується для реконструкції зображень у випадках часткової втрати даних, наприклад, пошкоджених або стиснутих зображень. Аналізуючи частотний спектр, частини зображення можна відновити, доповнивши або реконструювавши втрачені частоти. [50,51]

Застосування в реальному часі: Перетворення Фур'є в реальному часі використовуються для обробки відео та зображень, де потрібна швидка фільтрація та зменшення шуму. Прикладом цього є обробка відео в медичній техніці (наприклад, МРТ), де швидкі обчислення перетворення Фур'є можуть забезпечити високу якість зображень у реальному часі.

Застосування перетворення Фур'є

Перетворення Фур'є є одним з основних інструментів в обробці зображень і широко використовується в різних областях, де аналіз частотних складових зображень є важливим. Завдяки своїй здатності виявляти частотну структуру зображення, ШПФ застосовується в таких задачах, як стиснення, фільтрація, відновлення та розпізнавання зображень.

1. Фільтрація та згладжування зображень:

Видалення шуму: перетворення Фур'є використовується для видалення високочастотного шуму на зображеннях.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						58
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Високочастотні компоненти часто плутають з шумом, тому видалення цих компонентів у частотній області зменшує шум на зображенні.

Згладжування: низькочастотні компоненти в основному відповідають за грубу загальну форму зображення, тоді як високочастотні компоненти відповідають за деталі; зменшення високочастотних компонентів може пом'якшити зображення. Це також може бути використано для зменшення різкості та згладжування текстур.

Високочастотна фільтрація: фільтрація в частотній області часто необхідна для видалення дрібних, різких деталей і шуму. Низькочастотна фільтрація може бути використана для пом'якшення дрібних деталей, залишаючи основні форми і контури недоторканими.

2. Стиснення зображення

Стиснення зображення (JPEG): Перетворення Фур'є є основою алгоритмів стиснення зображень, таких як стандарт JPEG, який використовує дискретне косинусне перетворення (ДКП), подібне до перетворення Фур'є. Він використовує дискретне косинусне перетворення (ДКП), подібне до перетворення Фур'є. Цей метод можна використовувати для ізоляції важливих частот на зображенні, ефективно зменшуючи обсяг даних і зберігаючи зображення.

Стиснення в частотній області: Оскільки більша частина інформації в зображенні зберігається в низькочастотних компонентах, стиснення можна досягти, зберігши лише основні частоти і відкинувши менш важливі високочастотні компоненти. Це дозволяє значно зменшити розмір файлу зображення без суттєвої втрати якості зображення.

3. Обробка та відновлення зображень

Відновлення зображень: Перетворення Фур'є використовується для відновлення пошкоджених зображень, наприклад, коли інформація або пам'ять частково втрачена. Аналізуючи частотний спектр, можна заповнити відсутні частоти і відновити зображення.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

Видалення артефактів: Фур'є-аналіз може виправити різні артефакти на зображенні, наприклад, якщо зображення було спотворене або пошкоджене під час зйомки.

Це включає видалення смуг, спотворень та інших артефактів.

4. Розпізнавання візерунків

Аналіз текстур і візерунків: Перетворення Фур'є дозволяє аналізувати текстури і візерунки на основі частотної характеристики зображення. Частотний спектр дозволяє розпізнавати повторювані структури і специфічні частоти на зображеннях, що використовуються в задачах класифікації та розпізнавання об'єктів.

Машинне навчання та розпізнавання образів: Перетворення Фур'є може представити зображення як набір частот, що корисно для задач машинного навчання, які обробляють зображення відповідно до їх частотних компонентів. Цей підхід може бути корисним для розпізнавання форм, текстур або для підвищення точності класифікації.

5. Застосування частотної фільтрації для обробки відео

Обробка відео: для аналізу відео, що складається з великої кількості кадрів, перетворення Фур'є можна використовувати для зменшення шуму, видалення артефактів і фільтрації частот. Фільтрація може бути замінена на зменшення шуму, видалення артефактів і частотну фільтрацію. Оскільки відео - це безперервне зображення, аналіз частотної складової може ефективно фільтрувати інформацію в кожному кадрі.

Аналіз руху: Фур'є також можна використовувати для виявлення руху між кадрами, а нещодавні зміни в частотних компонентах можуть вказувати на зміни в зображенні між кадрами.

6. Фур'є-аналіз зображень і моделювання

Для аналізу моделі зображення: В обробці зображень перетворення Фур'є використовується для розкладання складних зображень на прості частотні області.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Це особливо корисно в наукових дослідженнях, де зображення можна використовувати для аналізу природних або штучних структур.

7. Динамічний аналіз і виявлення аномалій

Виявлення аномалій: Перетворення Фур'є можна використовувати для виявлення аномальних частотних компонентів, які є місцем розташування дефектів або змін зображення. Наприклад, в обробці медичних зображень Фур'є можна використовувати для виявлення аномальних структур і змін, таких як тріщини і щілини.

8. Геометричні перетворення і корекція зображень

Поворот та масштабування: Фур'є також виконує лінгвістичні перетворення для геометричної корекції зображень. Теорема про інваріантність перетворення Фур'є для геометричних операцій, таких як поворот і масштабування, дозволяє розпізнавати зміщення і виправляти положення об'єктів на зображенні.

Виявлення спотворень: Перетворення Фур'є може ефективно виявляти спотворення на зображенні після геометричних перетворень, таких як обертання, зміщення та масштабування.

9. Медична візуалізація

Медична візуалізація (МРТ, КТ, рентгенографія): Перетворення Фур'є використовується для реконструкції зображень у медичних діагностичних системах. Наприклад, магнітно-резонансна томографія (МРТ) та комп'ютерна томографія (КТ) використовують Фур'є для реконструкції зображень на основі вимірювань, отриманих від детектора.

Покращення якості зображень: Фур'є використовується для покращення медичних зображень шляхом видалення шуму, підвищення контрастності та відновлення деталей.

3.3. Порівняння перетворення Фур'є та вейвлет-стиснення в методах обробки зображення

Перетворення Фур'є (особливо у 2D) та вейвлет-перетворення - це два різні

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

підходи до обробки зображень, кожен з яких має свої особливості, переваги та недоліки. Вони використовуються для таких завдань, як стиснення, фільтрація, відновлення та аналіз зображень.

Механізм перетворення Фур'є: він розкладає зображення на синусоїди (гармонійні складові). Перетворення Фур'є переводить зображення в частотну область і представляє його в низьких і високих частотах.

У випадку зображення це означає, що зображення перетворюється на серію синусоїд, що дозволяє візуалізувати різні частоти всередині зображення. Перетворення Фур'є забезпечує глобальне представлення (розглядає зображення як єдине ціле), але не враховує локальні варіації зображення.

Вейвлет-перетворення: вейвлет-перетворення розкладає зображення на хвилі кінцевого часу, локалізовані як у часі (просторі), так і в частоті. Це дозволяє детально аналізувати зображення в різних масштабах, як локально, так і глобально, що важливо для зображення, які відповідають різним рівням деталізації. Вейвлети корисні для зображень з різкими змінами і деталями, а також краще зберігають локальні особливості зображення.

Локалізація в просторі

Перетворення Фур'є: коли всі компоненти глобалізовано, локалізація в просторі зникає. Іншими словами, застосування перетворення Фур'є дає інформацію про частоти, але не про положення на зображенні. Це дозволяє використовувати Фур'є в задачах, де важлива точна локалізація деталей і змін на зображенні.

Вейвлет-перетворення: зберігає як частотну, так і просторову інформацію. Вейвлети дозволяють аналізувати як низькочастотні (грубі), так і високочастотні (тонкі) деталі зображення на різних рівнях масштабу. Це є перевагою в задачах, де важлива точна локалізація, таких як стиснення зображень і виявлення об'єктів.

Стиснення зображень

За допомогою перетворення Фур'є: Перетворення Фур'є ефективно використовує низькочастотну складову для збереження основної інформації на

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						62
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

зображенні, тоді як високочастотна складова зазвичай відповідає за менш важливі деталі та шум. Однак глобальна природа перетворення Фур'є робить його проблематичним для стиснення зображень, що містять різкі переходи або текстури. Для стиснення зображень (наприклад, у форматі JPEG) використовується дискретне косинусне перетворення (ДКП). Воно схоже на перетворення Фур'є, але має деякі особливості застосування до зображення.

Вейвлет-стиснення: вейвлети часто дають найкращі результати для стиснення зображень, але погано адаптуються до локальної структури зображення. Вейвлети можуть досягти більш ефективного стиснення, розбиваючи зображення на інші рівні (масштаби) і ефективно відкидаючи високочастотні компоненти на всіх рівнях. Наприклад, стандарт стиснення JPEG 2000 використовує вейвлети для досягнення кращого стиснення, ніж традиційний JPEG на основі DCT.

Обробка шуму

За допомогою перетворення Фур'є: перетворення Фур'є може легко видалити високочастотні компоненти, які спричиняють шум у зображеннях. Однак воно не може ідентифікувати шум на конкретному зображенні. За наявності сильного шуму або артефактів Фур'є може бути не дуже ефективним, а останній шум може бути розподілений по всьому зображенню.

Обробка шуму за допомогою вейвлетів: вейвлети можуть ефективно видаляти шум завдяки своїй здатності аналізувати зображення в різних масштабах. Вейвлети можуть локалізувати шум у певних частинах зображення і зменшити шум у цих областях. Вейвлети часто дають чудові результати для обробки зашумлених зображень і збереження важливих деталей.

Обчислювальні вимоги

Для перетворень Фур'є: особливо для великих двовимірних зображень, перетворення Фур'є можуть бути складними в обчислювальному плані, особливо при використанні алгоритмів високої роздільної здатності. Однак з розвитком алгоритмів (наприклад, швидкого перетворення Фур'є - ШПФ) ці обчислювальні вимоги значно зменшилися.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

Вейвлет-перетворення: вейвлети менш вимогливі до обчислень, ніж Фур'є, особливо в контексті стиснення та деінтерлейсингу. Однак для великих зображень деякі алгоритми вейвлет-перетворення є обчислювально дорогими, хоча вони є більш ефективними для певних завдань, таких як стиснення зображень.

Застосування та ефективність

Перетворення Фур'є: Перетворення Фур'є має багато застосувань, таких як виділення основної частоти та обробка синусоїдальних сигналів (спектральний аналіз зображень, обробка відео тощо), де сферичні особливості зображення є важливими. Стиснення зображень (JPEG) використовується для таких завдань, як фільтрація та зменшення шуму.

Вейвлет-стиснення: ідеально підходить для складних зображень з високим контрастом, текстурою і локальними деталями. Вейвлети краще зберігають важливі локальні особливості зображення і забезпечують більш ефективне стиснення, особливо при високих коефіцієнтах стиснення. Використовується в додатках, де важлива висока якість зображення після стиснення, таких як медична візуалізація, супутникові знімки та обробка відео. [6,7,45,50,51]

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						64
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ WAVELET-СТИСНЕННЯ ТА ОЦІНКИ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

4.1. Алгоритми вейвлет-стиснення.

Огляд вейвлет-стиснення та його застосування для обробки відео.

Вейвлет-стиснення - це потужний метод стиснення даних, який широко використовується для обробки відео, оскільки він забезпечує ефективне представлення сигналу і мінімізує відновлення помилок при значному зменшенні розміру файлу. Цей підхід базується на використанні вейвлет-перетворень, які перетворюють дані в більш компактний простір і забезпечують високий рівень робастності без значної втрати якості.

Дискретне вейвлет-перетворення визначення та потужність: Дискретне вейвлет-перетворення (DWT) - це метод, який розкладає сигнал на набір базисних функцій (вейвлетів). Це дозволяє ефективно представити сигнал у вигляді низьких коефіцієнтів з різними частотами і просторовим розташуванням. Це перетворення особливо корисне для аналізу та обробки зображень і відео, дозволяючи зберегти важливу інформацію, зменшуючи при цьому їхній розмір.

Двовимірні та багатовимірні вейвлет-перетворення: використання двовимірних (2D) вейвлет-перетворень є стандартом в обробці зображень і відео. Це дозволяє зберігати просторову та частотну інформацію, важливу для зображення або відеокадру. Для відео також використовуються багатовимірні перетворення, які поєднують часові та просторові характеристики для збереження більшої кількості інформації та досягнення вищого тиску.

Методи стиснення вейвлет-коефіцієнтів

Порогове значення: Один з найпростіших методів стиснення полягає у використанні або значному зменшенні значень коефіцієнтів нижче певного

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		65

порогового значення. Це може значно зменшити обсяг даних, що зберігаються, без значного погіршення якості.

Квантування: як тільки коефіцієнти досягають певного порогового значення, квантування зазвичай зменшується, а кількість бітів, що представляють кожен коефіцієнт, ще більше зменшується, хоча точність збережених значень при цьому знижується.

Модифікація циклу кодування: для досягнення оптимального стиснення цикл або розподіл значень під час кодування може бути змінений для оптимізації зберігання даних.

Метод бітового кодування стиснених вейвлет-коефіцієнтів

Арифметичне кодування: ця схема кодування використовує змінну довжину коду для кожного коефіцієнта залежно від ймовірності коефіцієнта. Це забезпечує ефективне стиснення за рахунок зменшення середньої кількості бітів, необхідних для представлення кожного коефіцієнта.

Кодування Хаффмана: Це класичний метод стиснення, який використовує вейвлет-коефіцієнти до стиснення, а високоімовірні символи також підтримують коротші коди.

Контекстне моделювання: використовується для прогнозування наступних ефектів у складі і забезпечує підвищену стійкість завдяки контекстно-чутливому адаптивному кодуванню.

Відновлення зображення: процес відновлення зображення: після того, як відео або зображення було стиснуто і закодовано, процес відновлення виконується за допомогою вейвлет-перетворення зі зворотним розпадом (IDWT). Це гарантує, що більша частина оригінальної інформації буде відновлена із стиснених коефіцієнтів. Якість відновлення залежить від рівня стиснення і вибору параметрів стиснення, таких як пороги і методи квантування.

4.2. Програми вайвлет-стиснення.

Вибір мови програмування Розглянемо можливі мови програмування для реалізації алгоритмів вайвлет-стиснення, такі як MATLAB, Python та C++.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

Реалізація алгоритму: процес реалізації алгоритму вейвлет-стиснення складається з наступних кроків: Декомпозиція зображення або відео за допомогою DWT. Стиснення та квантування вейвлет-коефіцієнтів Бітове кодування стиснутих даних Зберігання та відновлення даних. На кожному етапі реалізуються відповідні вбудовані бібліотечні функції для полегшення процесу розробки.

Налаштування параметрів

Рівень роздільної здатності: визначає, на скільки етапів розбивається перетворення, і впливає на рівень робастності.

Поріг: визначає коефіцієнт, що залишається після стиснення.

Метод кодування: вибирає метод кодування (арифметичний, Хаффмана або контекстна модель) для досягнення ефективності тиснення.

Оцінка помилок відеозображенні

Виявлення шуму: використовує алгоритми шуму, такі як адаптивні гаусові та медіанні фільтри, щоб зменшити негативний вплив шуму на стиснені зображення та якість відео.

Корекція артефактів: фільтрація та інтерполяція артефактів, таких як блокові артефакти та москітні ефекти, можуть бути використані для покращення якості відновленого зображення.

Оцінка якості відеозображення: включає наступні показники: PSNR (пікове співвідношення сигнал/шум): вимірює якість співвідношення сигнал/шум;

SSIM (індекс структурної схожості): вимірює структурну схожість між відновленим зображенням і вихідним зображенням;

MS-SSIM (мультимасштабний SSIM): розширення SSIM для багатомасштабної оцінки.

Ці метрики дають точну оцінку якості складеного відео і не дозволяють оптимізувати алгоритм для кращого балансу між стисненням і якістю. Отже, вейвлет-стиснення є потужним інструментом для обробки відео і дозволяє досягти високої якості при значному зменшенні розміру даних. [48]

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						67
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 5.

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ

5.1. Дослідження амплітудних похибок у відеоканалі.

Стиснення тестового відеозображення (рис. 4.6) було виконано за допомогою безкоштовної версії InfanView для Windows 10. Використовувалася схема стиснення у форматі JPEG2000 на основі вейвлет-перетворення.

Було обрано різні рівні стиснення: 100:1, 50:1, 25:1, 10:1, 8:1, 4:1, 2:1 та 1:1. Стиснення 100:1 значно погіршує якість відеозображення і тому розглядалося як максимальний режим стиснення для даного типу відеозображення. Стиснення 1:1 розглядається для оцінки максимальної якості, яку зберігає вейвлет-перетворення цифрового відеозображення.

Процес стиснення виконувався для вихідного кольорового відеозображення та відповідної йому шкали градацій сірого (відтінків сірого).

Відновлене після стиснення відеозображення було проаналізовано на предмет похибок передачі кольору та геометричних параметрів об'єктів.

Похибки передачі кольору об'єктів.

Похибки відтворення кольору можна розглядати як загальну міру відхилення значень кольорів стисненого відеозображення від оригіналу:

$$\Delta = \sum_{i=1}^3 k_i \Delta_i ,$$

де $i = 1, 2, 3$ – номер каналів для передачі кольору (в даному випадку: R (червоний), G (зелений), B (синій)), відповідно $k_1 = 0.3$, $k_2 = 0.59$, $k_3 = 0.11$. Значення Δ_i обчислюються за формулою:

$$\Delta_i = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (Y_{\text{vost.}}(x, y, i) - Y_{\text{orig.}}(x, y, i))^2} ,$$

де $Y_{\text{vost.}}(x, y, i)$, $Y_{\text{orig.}}(x, y, i)$ – показники яскравості кольору i у точці (x, y) відновленого та початкового відеозображень відповідно.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						68
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Похибки відтворення кольору об'єктів розраховувалися окремо для кольорового відеозображення та його напівтонового зображення. Основна відмінність між цими розрахунками полягає в тому, що кольорове відеозображення має три кольорові канали, тоді як напівтонове зображення - лише один. - 1.1.

Текст програми для розрахунку похибки відтворення кольору об'єкта на основі кольорового відеозображення:

```
file_original = 'derevo.bmp'
file_vost = 'derovo_zminene.bmp'
inf_original = imfinfo(file_original);
inf_vost = imfinfo(file_vost);
image_original = imread(file_original);
image_vost = imread(file_vost);
koef = [0.3 0.59 0.11]
delta = 0;
for color_channel = 1:3
    channel_original = double(image_original(:,:,color_channel));
    channel_vost = double(image_vost(:,:,color_channel));
    channel_quad_summ = 0;
    for i = 1:inf_original.Width
        for j = 1:inf_original.Height
            channel_quad_summ = channel_quad_summ + (channel_vost(i,j) -
channel_original(i,j))^2;
        end
    end
    deltaT = sqrt(channel_quad_summ/(inf_original.Width*inf_original.Height))
    delta = delta + koef(color_channel) * deltaT;
end
```

В змінні file_original, file_vost заносимо назви відеозображень, які длосліджуємо.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						69
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

В даному прикладі це `derevo.bmp` (файл початкового відеозображення), `derovo_zminene.bmp` (файл відеозображення, стиснутого з коефіцієнтом 4:1).

```
inf_original = iminfo(file_original);
```

```
inf_vost = iminfo(file_vost);
```

В `inf_original` та `inf_vost` заносимо інформацію про відеозображення, використовуючи функцію `iminfo()`. До цієї інформації належать: назва файлу, дата останнього редагування, розмір файлу у байтах, формат відеозображення, версія формату, висота, ширина, глибина кольору (кількість байт для зберігання кольору одного пікселя) та тип кольору.

```
image_original = imread(file_original);
```

```
image_vost = imread(file_vost);
```

За допомогою функції `imread()` читаємо безпосередньо самі початкове та відновлене відеозображення і записуємо отримані дані у змінні `image_original`, `image_vost`.

Далі в циклі знаходимо значення виразу для похибки

$$\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (A_{vost}(x, y, i) - A_{orig}(x, y, i))$$
 та поміщуємо його у змінну

```
channel_quad_summ.
```

```
for i = 1:inf_original.Width
```

```
    for j = 1:inf_original.Height
```

```
        channel_quad_summ = channel_quad_summ + (channel_vost(i,j) -  
channel_original(i,j))^2;
```

```
    end
```

```
end
```

Тут `channel_vost` та `channel_original` – це двовимірний масив, елементами якого є відповідні значення кольору (червоний, зелений або синій) кожного пікселя відеозображення. Їх розмірність рівна розмірам відеозображення.

```
deltaT = sqrt(channel_quad_summ/(inf_original.Width*inf_original.Height))
```

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						70
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

В змінну `deltaT` записуємо значення похибки для поточного кольору.

```
delta = delta + koef(color_channel) * deltaT;
```

В `delta` записуємо загальне значення похибки відтворення кольору об'єктів.

Приклад результат виконання програми:

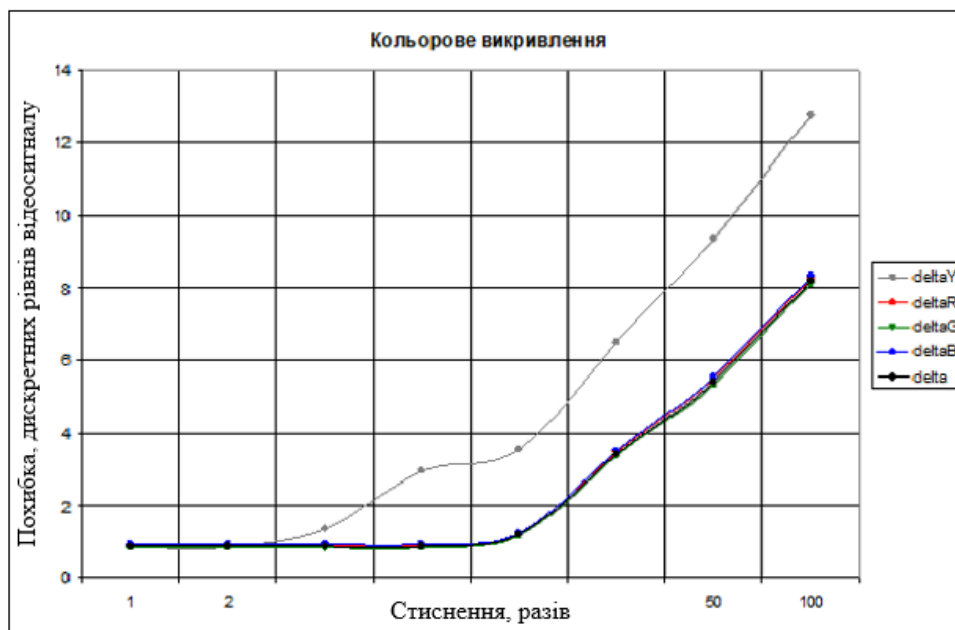
```
>>
file_original =
derovo.bmp
file_vost =
derovo_zminene.bmp
koef =
    0.3000    0.5900    0.1100
deltaR =
    0.9533
deltaG =
    0.8644
deltaB =
    1.0118
delta =
    0.9072
```

Три значення `deltaR`, `deltaG` і `deltaB` відповідають помилкам червоного, зеленого і синього кольорів відповідно, `delta` - загальне значення помилки відновленого кольорового відеозображення, а `deltaY` - значення помилки відновленого напівтонового відеозображення.

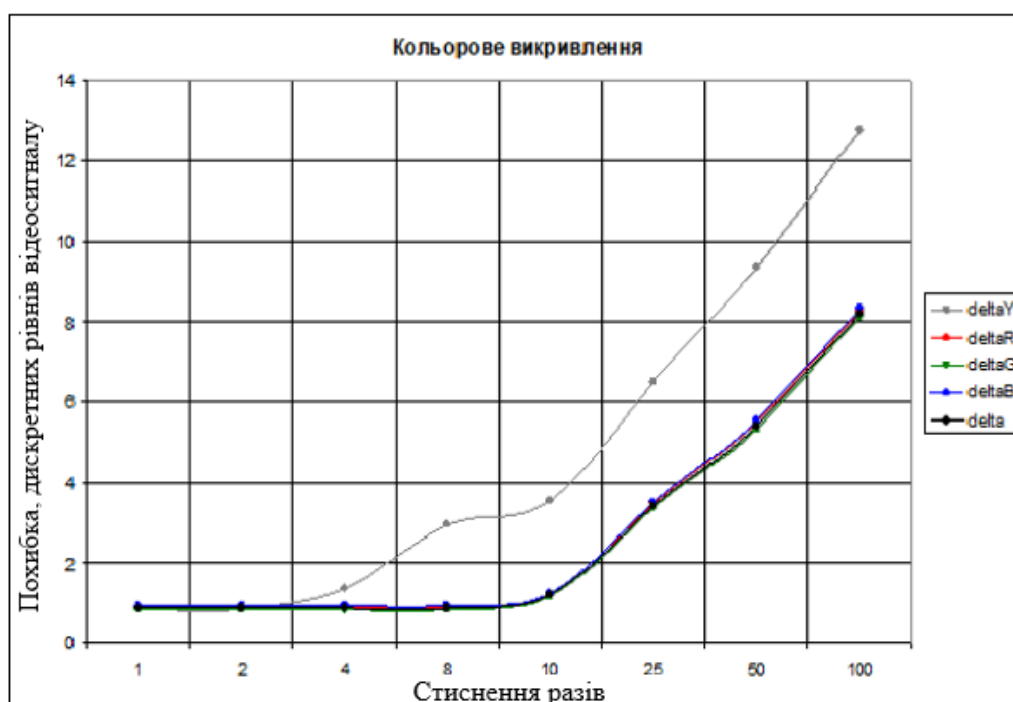
За допомогою цієї програми було отримано значення помилок кольоропередачі об'єктів для п'яти відеозображень (див. рисунок 2.6), стислих усіма перерахованими вище коефіцієнтами.

Потім було побудовано графік залежності похибки передачі кольору об'єкта від коефіцієнта стиснення (рис. 2.7).

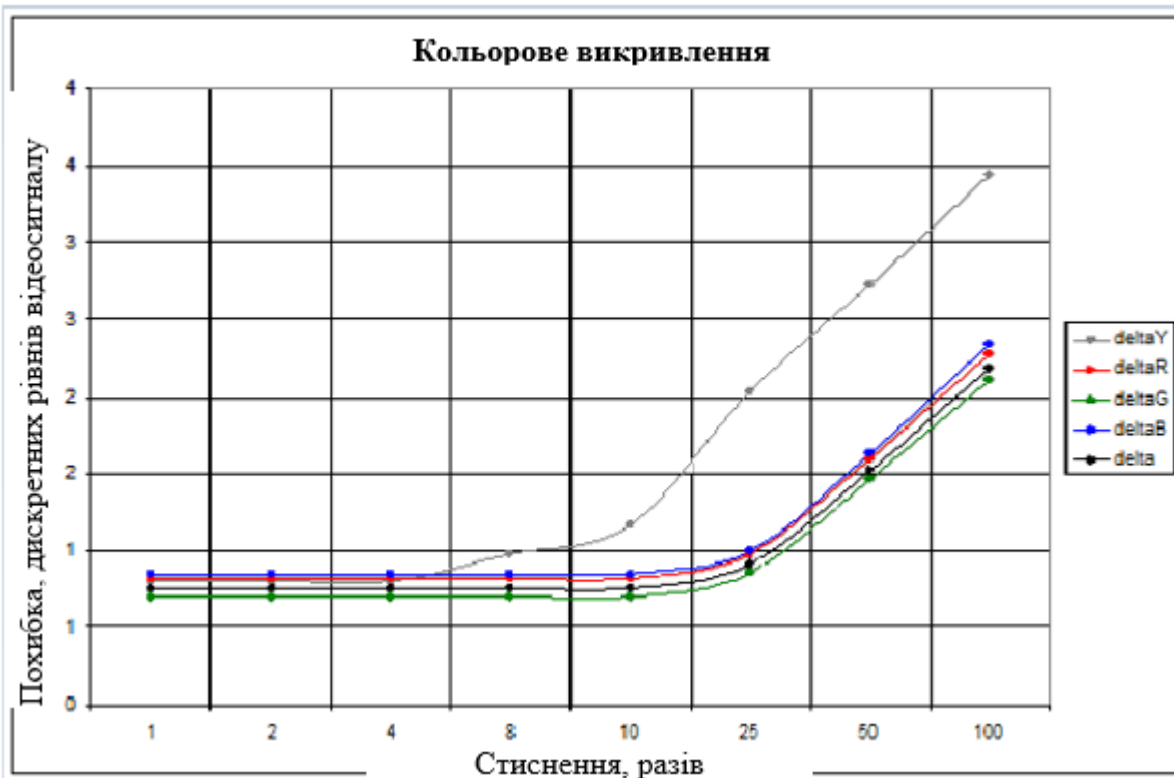
					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						71
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		



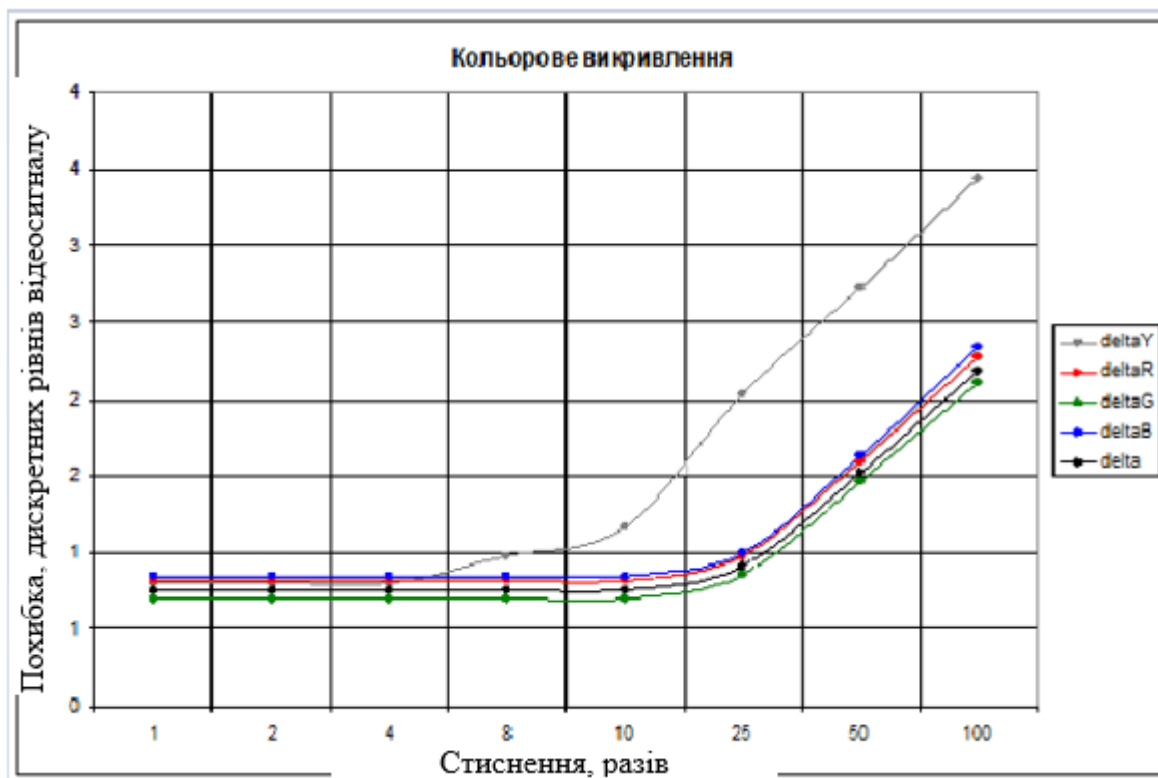
а)



б)



в)



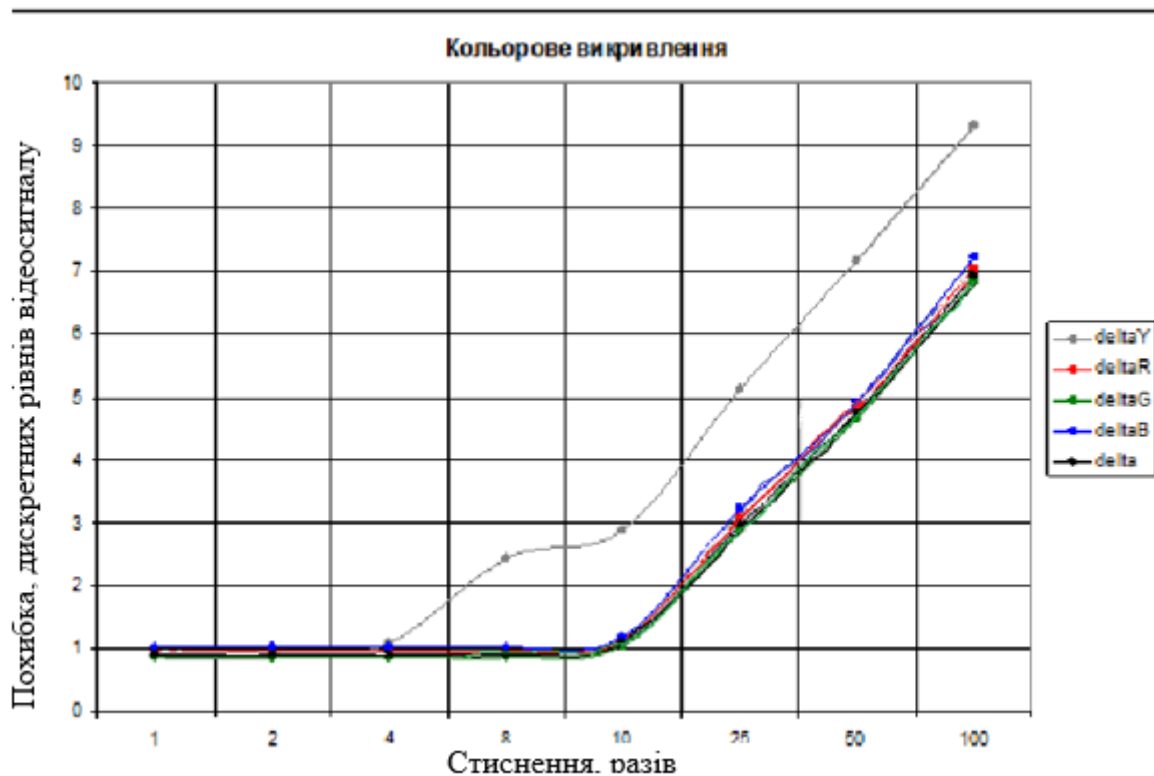
г)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ММІВ 480.016.053- ПЗ

Арк.

73



д)

Рис. 2.7

Похибки відтворення кольору об'єктів в залежності від величини стиснення: а) відеозображення №1; б) відеозображення №2; в) відеозображення №3; г) відеозображення №4; д) відеозображення №5; δR , δG , δB – відповідають похибкам для червоного, зеленого та синього кольорів відповідно, δ – загальне значення похибки відновленого кольорового відеозображення, δY – значення похибки відновленого напівтонового відеозображення

З отриманих результатів можна зробити висновок, що вейвлет-перетворення і пов'язаний з ним метод стиснення є ефективними при застосуванні до цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ГП об'єкта і параметри руху. При стисненні кольорових і напівтонових відеозображень у ступені 10:1 похибки практично не помітні, а для вимірювань ГП прийнятним ступенем стиснення є 50:1.

5.2. Дослідження похибок координат об'єктів.

Оцінка координатної похибки базується на аналізі областей відеозображення, що містять дискретні точки з однаковими характеристиками.

Ці ділянки відповідають об'єктам вимірювання і отримуються шляхом сегментації тестового відеозображення. Ознаками сегментації є значення яскравості дискретних точок цифрового відеозображення. Для відеозображень № 1, 2, 3, 4 і 5 (див. рис. 2.6) світлими вважалися точки, яскравість яких належить до діапазону дискретних рівнів відеосигналу [108, 223], а темними - ті, що перебувають у решті діапазону [3, 113]. На відеозображенні № 3 ці діапазони становлять [51, 255] і [0, 50], що можна пояснити низькою яскравістю відеозображення.

Індекс координатних спотворень - це величина, яку розраховують за такою

формулою:
$$\Delta_{coord.} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (R_{compr.}(i) - R_{orig.}(i))^2},$$

де $R_{compr.}(i)$, $R_{orig.}(i)$ - координат контурних точок об'єкта, L - сумарна кількість контурних точок.

В даному випадку було обрано 20 точок, 10 з яких досліджувались на зміщення координати x , інші 10 - на зміщення координати y (рис. 3.8)

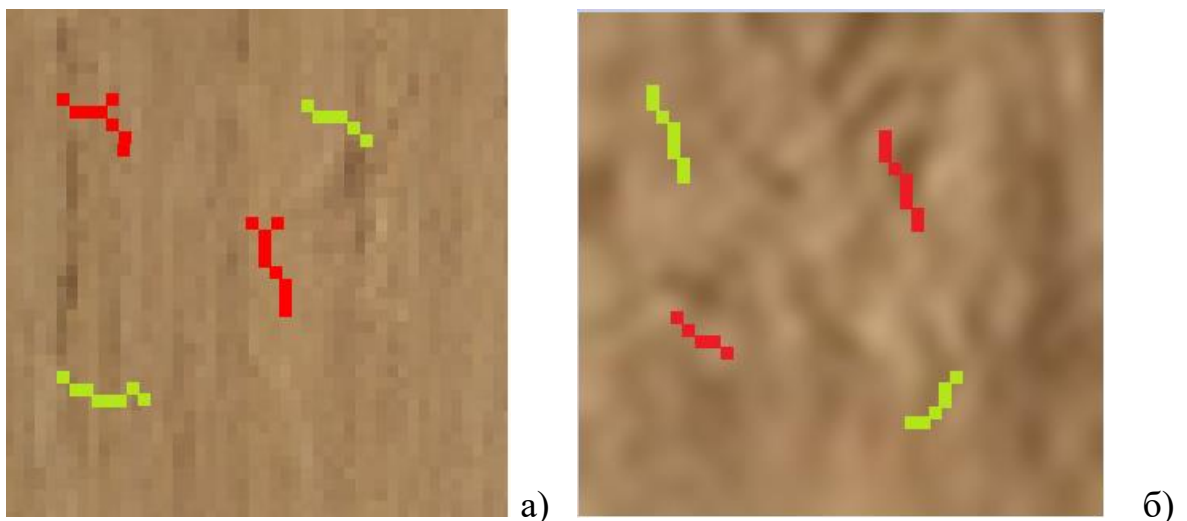


Рис. 2.8. Зміщення контурних точок при стисненні напівтонового еквівалента відеозображення №1: а) початкове відеозображення, б) відновлене відеозображення після стиснення в 100 разів

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		75

Похибка Δ_{coord} знаходилася за допомогою наступної програми:

```
dx_dy = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0]
```

```
L = 20
```

```
summ = 0;
```

```
for i = 1:L
```

```
    summ = summ + (dx_dy(i))^2;
```

```
end
```

```
deltaCoord = sqrt(summ/L)
```

В масиві dx_dy зберігаються зміщення координат контурних точок.

В циклі

```
for i = 1:L
```

```
    summ = summ + (dx_dy(i))^2;
```

```
end
```

знаходиться значення виразу $\sum_{i=1}^L (R_{compr.}(i) - R_{orig.}(i))^2$, що присутній в

формулі для розрахунку похибки визначення координат.

$\delta_{Coord} = \sqrt{summ/L}$ – середньоквадратична похибка визначення координат контурних точок об'єкта.

Результат виконання програми:

```
>>
```

```
L =
```

```
    20
```

```
deltaCoord =
```

```
    0.2236
```

```
>>
```

Так, було знайдено середньоквадратичні похибки координат контурних точок об'єктів для усіх напівтонових відеозображень з усіма коефіцієнтами стиснення.

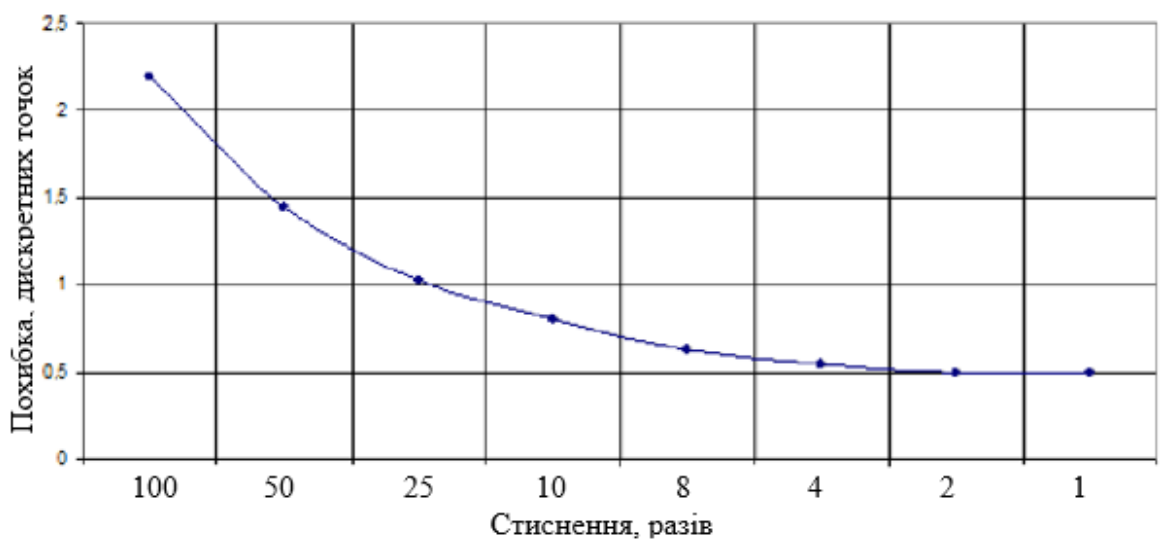
Також було оцінено похибку визначення площі об'єктів на відеозображеннях, відновлених після стиснення:

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						76
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

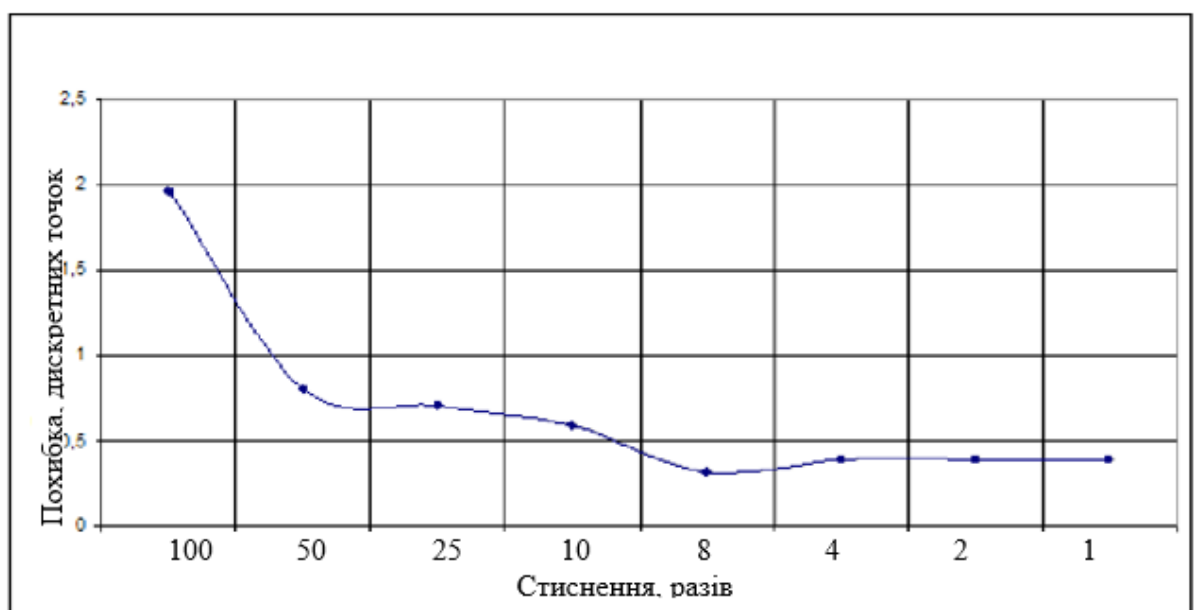
$$\Delta_S = S_{compr.} - S_{orig.},$$

де $S_{compr.}$, $S_{orig.}$ – площі об'єктів на відновленому та початковому відеозображеннях. На практиці $S_{compr.}$, $S_{orig.}$ визначаються як кількість дискретних точок відеозображення, що належать об'єкту та знайдені шляхом сегментації.

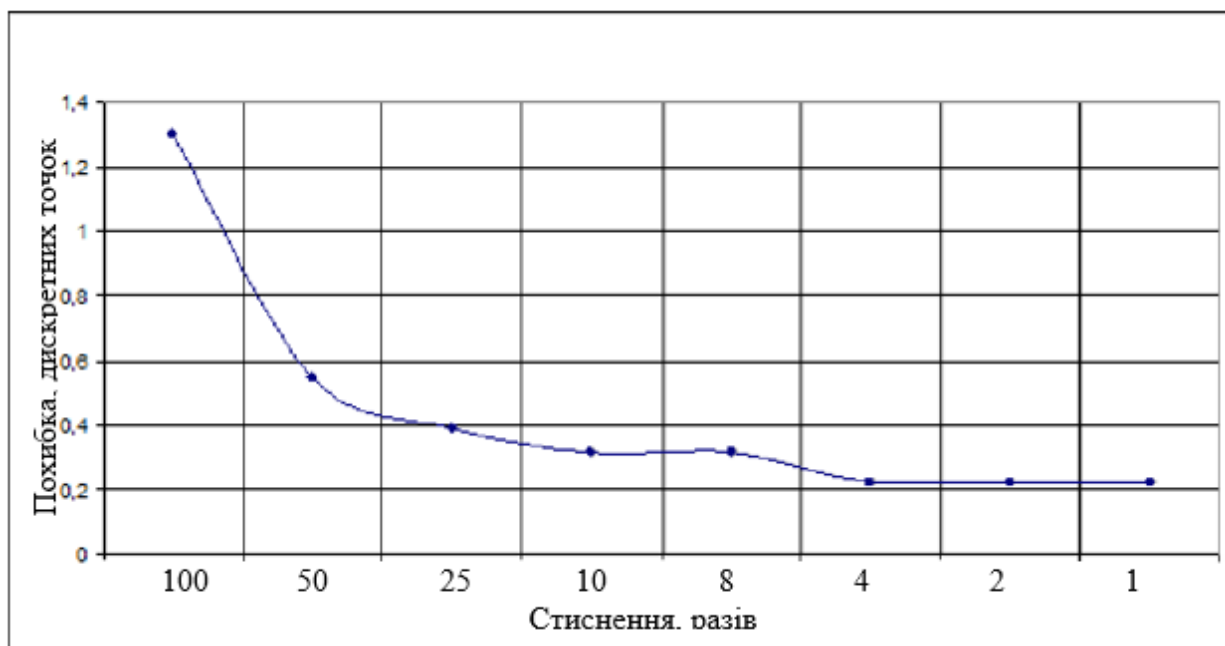
На основі отриманих даних будується графік залежності похибки визначення координат точок контуру та площі об'єкта від ступеня стиснення цифрового відеозображення. (рис. 2.9, 2.10).



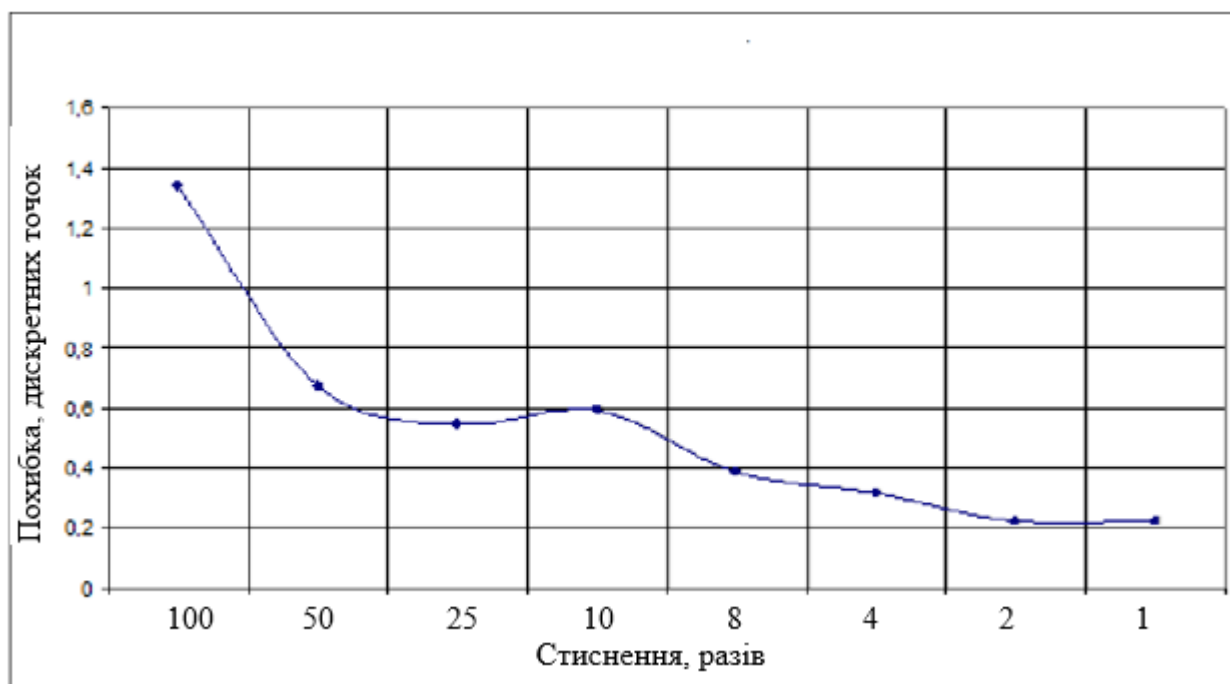
а)



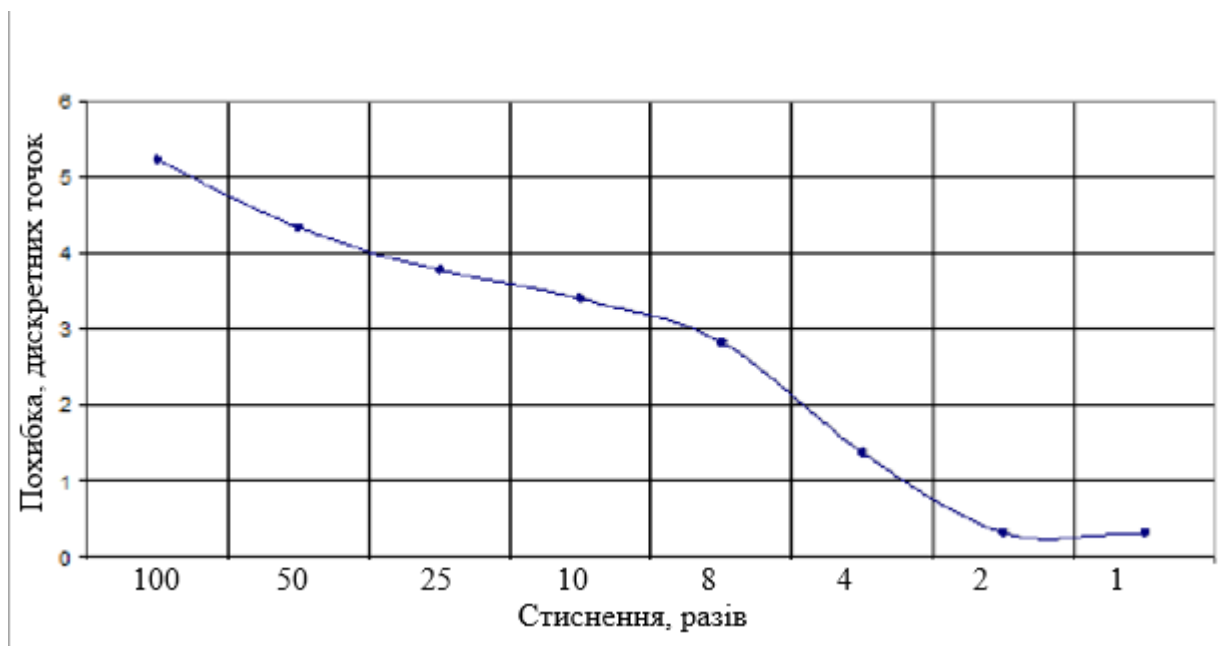
б)



В)

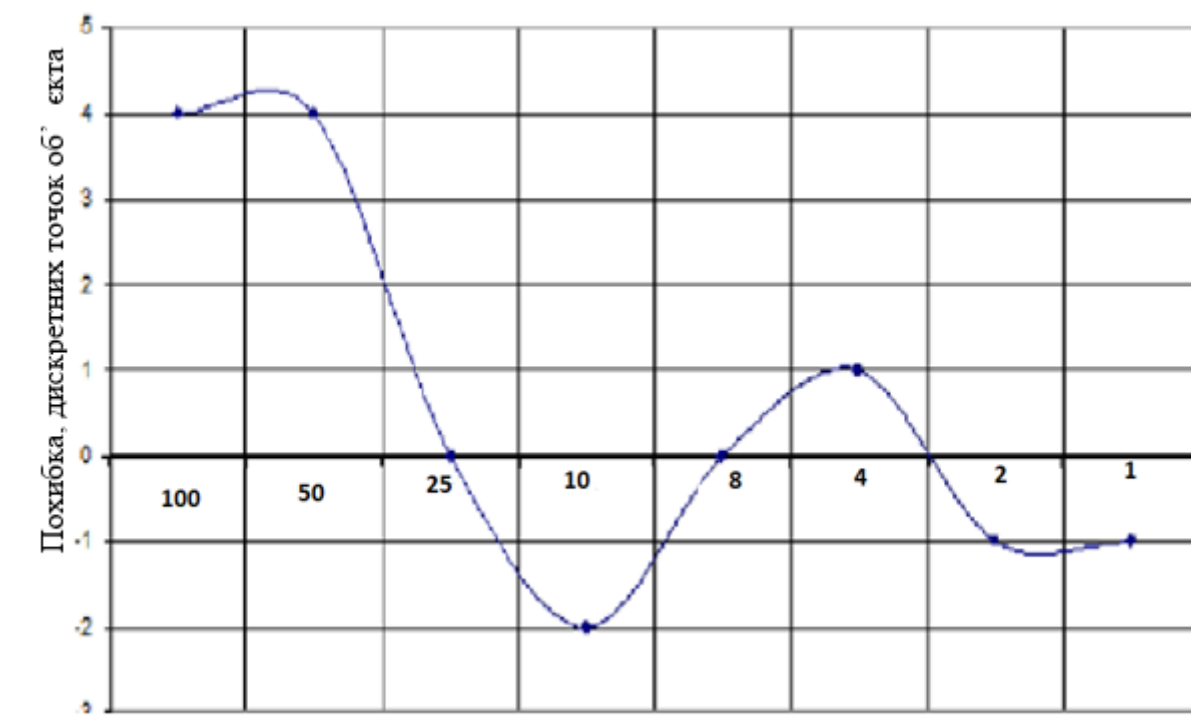


Г)



д)

Рис. 2.9. Похибки визначення координат контурних точок об'єктів в залежності від величини стиснення: а) відеозображення №1; б) відеозображення №2; в) відеозображення №3; г) відеозображення №4; д) відеозображення №5



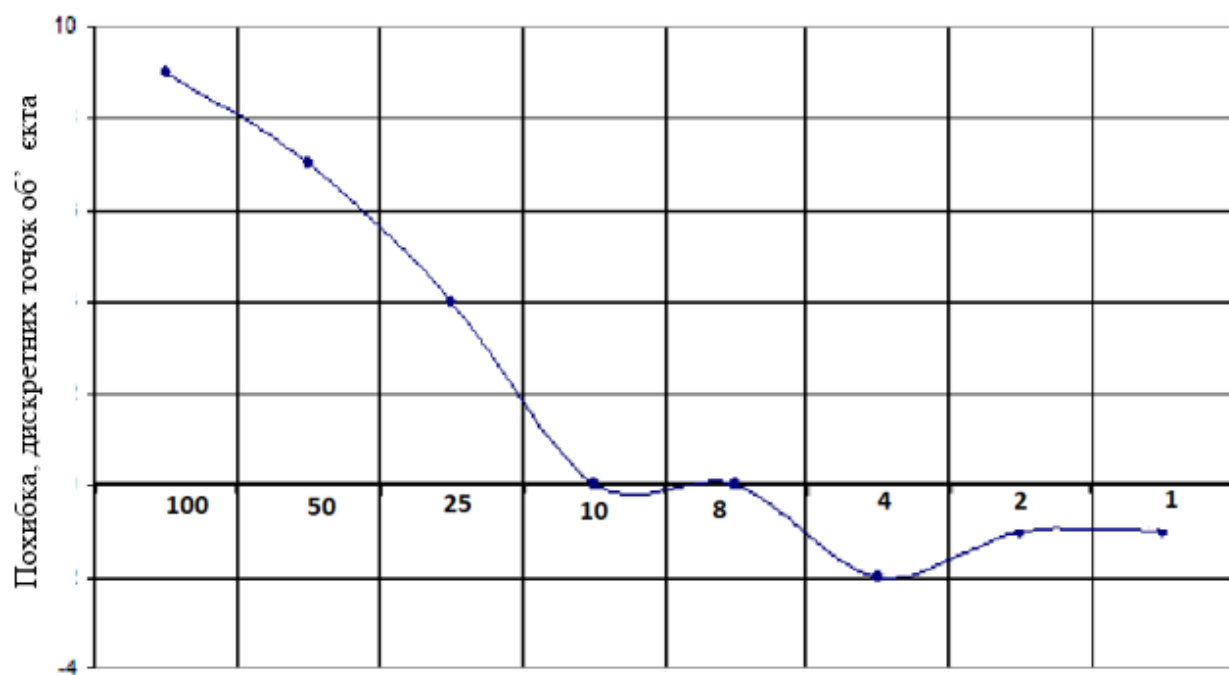
а)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

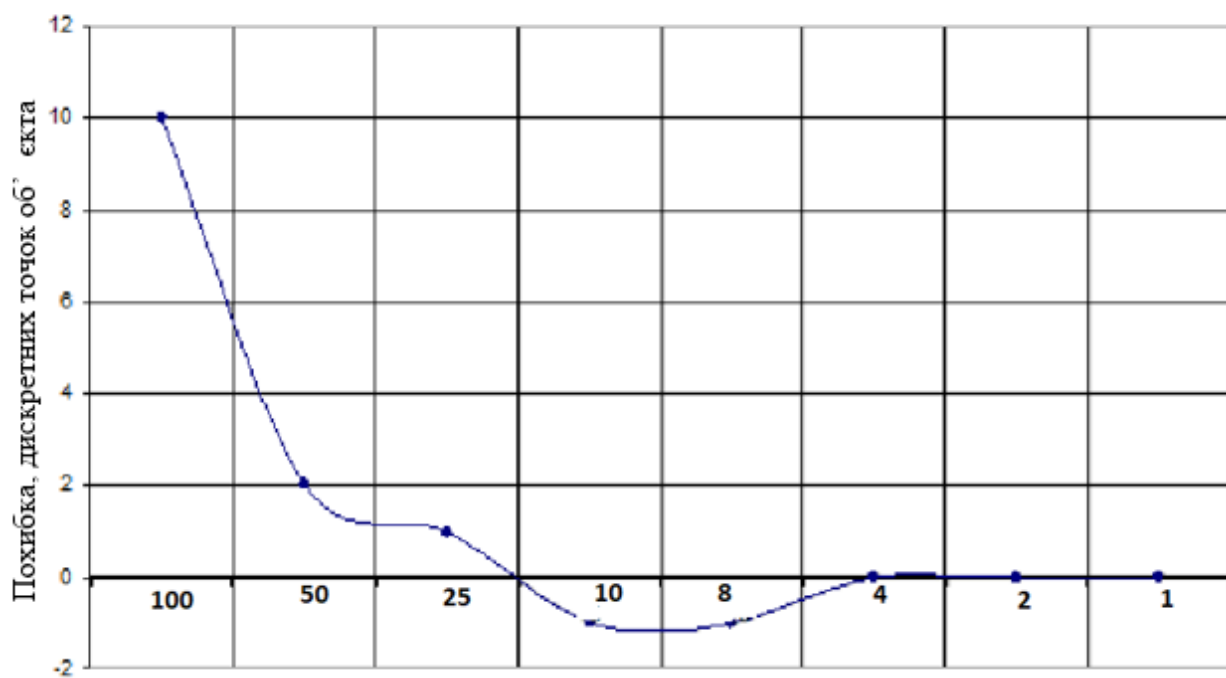
ММІВ 480.016.053- ПЗ

Арк.

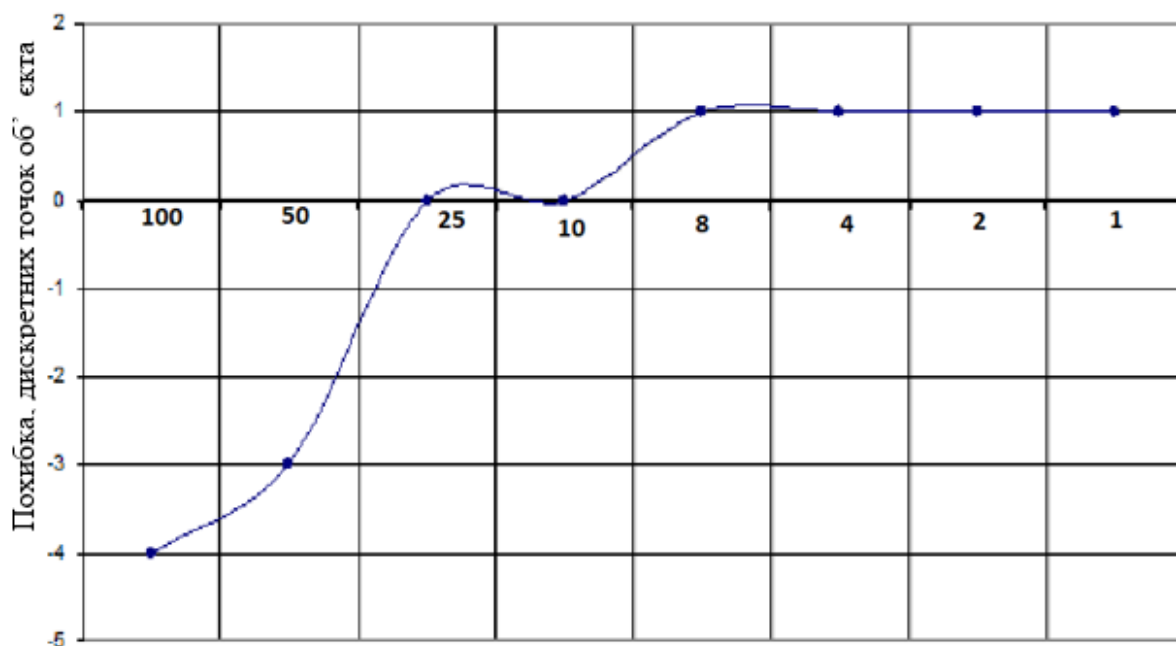
79



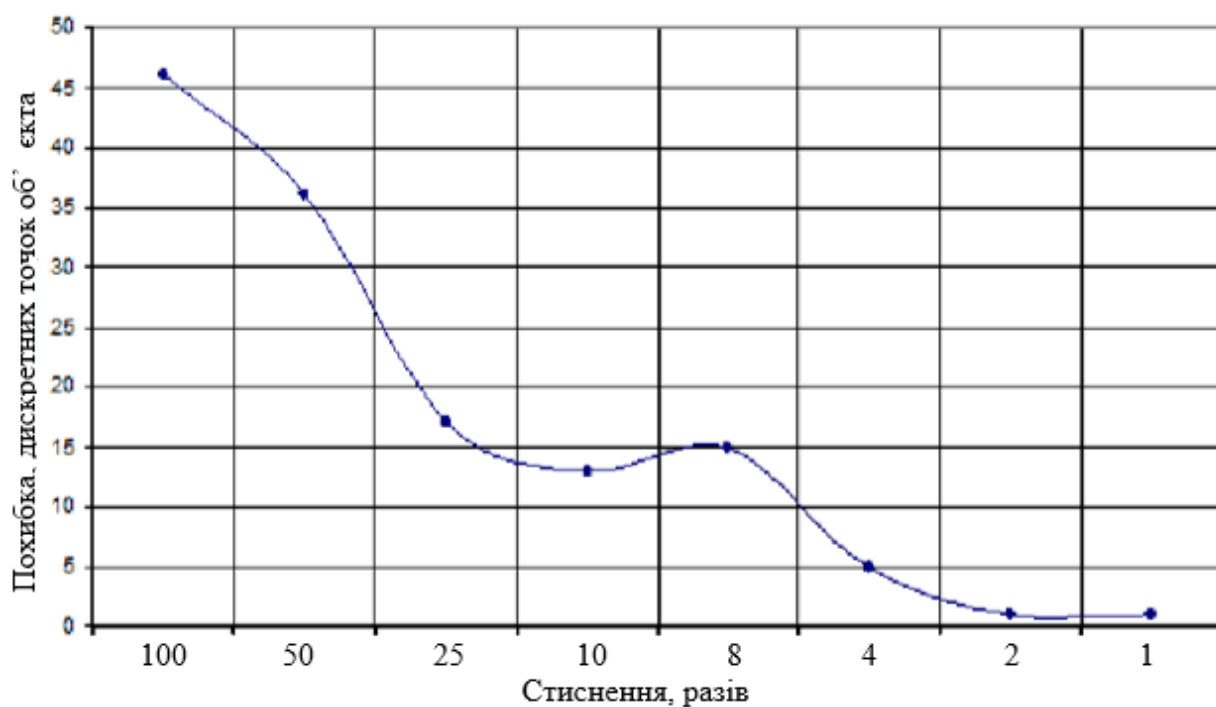
б)



в)



г)



д)

Рис. 2.10. Похибки визначення площі об'єктів в залежності від величини стиснення: а) відеозображення №1; б) відеозображення №2; в) відеозображення №3; г) відеозображення №4; д) відеозображення №5

Таким чином, доведено практичну доцільність стиснення на основі вейвлет-перетворень цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ГП об'єкта. Можливі значення стиснення залежать від конкретного відеозображення, але становлять від 25 до 50 разів. Це дає змогу досягти прийнятних значень похибки під час визначення координат точок контуру та площі об'єкта на відновленому після стиснення відеозображенні.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

У роботі досліджено проблему стиснення відеоінформації з використанням вейвлет-перетворень. Детально проаналізовано переваги та недоліки основних алгоритмів вейвлет-стиснення, зокрема JPEG2000 та MPEG-4. Також буде проведено порівняння з іншими популярними методами, такими як алгоритм дискретного косинусного перетворення (ДКП) та алгоритм Марра. Також досліджено вплив рівня декомпозиції та типу обраної вейвлет-функції на якість синтезованого відео. Результати показують, що використання більш складних та адаптивних функцій покращує якість синтезованого відео та зберігає деталі відео, незважаючи на збільшення обчислювальних витрат.

Експерименти на реальних відеоданих підтверджують, що метод вейвлет-перетворення дозволяє значно зменшити розмір відеофайлів без суттєвої втрати якості зображення. Більш того, метод показує вищу ефективність порівняно з іншими методами, особливо в задачах, що вимагають високої якості зображення і збереження деталей.

Крім того, метод вейвлет-перетворення забезпечує адаптивне стиснення. Це дозволяє використовувати частково різні рівні стиснення залежно від важливості відеозображення, що дуже корисно в задачах зберігання і передачі відеоданих. З наведеного вище аналізу можна зробити висновок, що метод вейвлет-перетворення є ефективним і перспективним інструментом для тиснення відео.

Він може бути використаний в різних галузях, таких як телекомунікації, мультимедіа, архівування даних і потокове відео. Таким чином, вейвлет-стиснення не тільки економить місце на диску, але й забезпечує високу якість відео. Це робить його ідеальним вибором для зберігання, передачі та обробки великих обсягів відеоданих у сучасному інформаційному суспільстві. Крім того, вейвлет-технологія має великий потенціал у розробці нових форматів відео високої чіткості, таких як 4K і 8K, де ефективне стиснення даних є особливо важливим.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						83
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Завдяки своїй гнучкості вейвлет-методи стиснення можуть бути адаптовані до конкретних вимог і завдань, таких як зменшення затримок для потокового відео або оптимізація для мобільних пристроїв з обмеженими ресурсами. Важливо, що методи вейвлет-перетворення зберігають ключові характеристики зображення навіть при високих рівнях стиснення. Це відкриває потенційні можливості застосування цього методу в таких сферах, як відеоспостереження, медична візуалізація, дистанційне зондування та розробка програмного забезпечення для аналізу відео. Для подальшого розвитку цього дослідження слід звернути увагу на оптимізацію алгоритмів, які зменшують обчислювальну складність без шкоди для якості. Адаптація методів автоматичного вибору параметрів стиснення до нових технологій, таких як машинне навчання. Інтеграція з іншими підходами, такими як гібридні методи, що поєднують переваги вейвлет- і фрактальних алгоритмів.

У майбутньому подальший розвиток вейвлет-методів стиснення може стати основою для технологічних інновацій в галузях, які потребують ефективної обробки великих обсягів відеоданих, забезпечуючи при цьому високу продуктивність і універсальність. Тому вейвлет-стиснення відеоінформації є не тільки актуальним, але й стратегічним напрямком для промислових досліджень та розробки практичних застосувань на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						84
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. "Вайвлет-перетворення і стиснення" - Е.Д. Кандесом і Д.Л. Донохо, описує основні принципи вайвлет-перетворення і його застосування до стиснутих зображень.
2. "Технології стиснення цифрових зображень" - С.С. Агаяном,
3. Журнал операції обробки зображень IEEE
4. Журнал IEEE Signal Processing Journal
5. Журнал візуальної передачі та представлення зображень
6. Подчашинський Ю.О. Стиснення цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про механічні величини / Ю.О. Подчашинський // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2008.
7. Подчашинський Ю.О. Стиснення та перетворення цифрових відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів: монографія / Ю.О. Подчашинський. – Житомир: ЖДТУ, 2019.
8. "Огляд вайвлет-перетворення у стисненні відеоданих", Каранвір Сінгх, Амріт Каур та Сіма Ансарі, Міжнародний журнал комп'ютерних застосувань, Том 75, №14, серпень 2013.
9. "Стиснення відеоданих на основі вайвлетів: огляд", Тарун Кумар Шарма та Арун Кумар Сінгх, Міжнародний журнал комп'ютерних наук та інформаційної безпеки (IJCSIS), Том 13, № 2, лютий 2015.
10. "Стиснення відеоданих на основі вайвлетів: огляд", Ручі Гупта та Дінеш Гоял, Міжнародний журнал комп'ютерних наук та мобільних обчислень (IJCSMC), Том 3, Випуск 8, серпень 2014.
11. "Відеокодек на основі вайвлетів для гетерогенних мережевих середовищ" Мохаммад Аль-Садун, Міжнародний журнал з питань комп'ютерних наук (IJCSI), Том 7, Випуск 4, липень 2010.
12. Посібник з баз даних відеозображень: проектування та застосування, Борко Фархіт та Оге Маркес - 2003.
13. Проектування відеокодеків: розробка систем стиснення зображень і відео, Ян Річардсон - 2002.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		85

14. Стиснення відеоданих та комунікації: від основ до MPEG4 для H.261, H.263, H.264, DVB і HSDPA Adaptive Turbo Transceivers, 2-е видання, Лайош Л. Ханзо, Пітер Черріман, Юрай Мішич, М. Буддикот - 2007.

15. Кодування відеоданих для мобільного зв'язку: ефективність, складність та надійність, Мохаммед Ганбарі - 2002.

16. H.264 - вдосконалений стандарт стиснення відеоданих, Ян Е. Річардсон - 2010.

17. Халдуна Аль-Муслеха в Journal of Applied Sciences, том 9, випуск 24, 2009р.

18. «Overview of Video Coding Techniques» Bhupendra Singh, Neha Sharma та Mahesh Kumar у Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Том 12, Випуск 2, 2010.

19. «Огляд методів стиснення відеоданих» Р. Дханасекарана та К. Бомманна Раджі в Міжнародному журналі комп'ютерних наук та інформаційних технологій, том 3, випуск 2, 2012 р.

20. «A Survey on Video Compression Techniques» AM Abd El-Latif у International Journal of Computer Science and Information Security, том 9, випуск 3, 2011.

21. «Кодування відеоданих за допомогою H.264/AVC: інструменти, продуктивність і складність» Йенса-Райнера Ома, Гері Дж. Саллівана та Хайко Шварца в журналі IEEE Circuits and Systems Magazine, Том 6, Випуск 4, 2006.

22. «Кодування відеоданих за допомогою стандарту стиснення H.264/MPEG-4 AVC». Журнал IEEE Signal Processing Magazine, том. 25, вип. 2, стор. 145-147, 2008.

23. Sullivan, GJ та ін. «Огляд стандарту вискоєфективного кодування відео (HEVC)». IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, том. 22, вип. 12, стор. 1649-1668, 2012.

24. Лю Ю. та ін. «Стиснення відеоданих в вайвлет-доміні з використанням тимчасової фільтрації з компенсацією руху та кодування підсмуги». IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, том. 13, № 5, стор. 428-441, 2003.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						86
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

25. Said, A. and Pearlman, WA "Новий, швидкий і ефективний кодек зображень, заснований на розділенні набору в ієрархічних деревах". IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, том. 6, № 3, стор. 243-250, 1996.

26. Занді, М. і Ганбарі, М. «Огляд алгоритмів кодування відеоданих для HDTV і не тільки». IEEE Transactions on Consumer Electronics, том. 45, вип. 3, стор. 689-700, 1999.

27. Мемон, Н. і Сайуд, К. «Введення в вайвлет-перетворення». 2000.
[Онлайн]. Доступно:

http://www.ece.uvic.ca/~nasserm/Textbook/Wavelet_Tutorial.pdf.

28. Стаття: Таубман, Д. та Марселлін, М. "JPEG2000: Основи, стандарти та практика стиснення зображень". Kluwer Academic Publishers, 2002.

29. Стаття: Скодрась А. Н. та ін. «Стандарт стиснення нерухомих зображень JPEG 2000». Журнал IEEE Signal Processing Magazine, том. 18, вип. 5, стор. 36-58, 2001.

30. Стаття: Содагар І. та ін. «Огляд стандарту стиснення зображень JPEG 2000». IEEE Transactions on Consumer Electronics, том. 46, вип. 4, стор. 1103-1127, 2000.

31. Стаття: Пірсон, Д. «Огляд стиснення відеоданих». [Онлайн]. Доступно:
<http://david.heathfield.net/VideoCompressionOverview.pdf>.

32. Стаття: Річардсон, IEG «Стиснення відеоданих H.264 і MPEG-4: кодування відеоданих для мультимедіа наступного покоління». Wiley, 2003.

33. Стаття: Турапіс, А. «Основи стиснення відеоданих MPEG». Журнал IEEE Signal Processing Magazine, том. 20, № 2, стор. 19-26, 2003.

34. Стаття: Кім, Ю.К. та Перлман, Вашингтон. "Вбудований вайвлет-відеокодер із використанням тривимірного розділення набору в ієрархічних деревах (SPIHT).

35. Стаття: Маллат, С. Г. (1999). Вайвлет-тур обробки сигналів: розріджений шлях. Академічна преса.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						87
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

36. Стаття: Манохар Р., Кумар М. та Джаяраман В.К. (2015). Обробка цифрових сигналів і зображень за допомогою MATLAB, Том 1: Основи, методи та алгоритми. Спрингер.

37. Стаття: Тхакур, А., і Тхакур, М. (2014). Стиснення зображень і відео на основі вайвлетів. Міжнародний журнал інженерних досліджень та застосувань (IJERA), 4(3), 292-298.

38. Стаття: Сюн, З. та Є, Ю. (2017). Вайвлетне стиснення відеозображення: огляд і останні розробки. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 28(9), 2032-2047.

39. Стаття: Селесник І. В. (2011). Дискретне вайвлет-перетворення: об'єднання алгоритмів а-труса та Малла. Журнал IEEE Signal Processing Magazine, 28(2), 111-128.

40. Стаття: Саїд, А. та Перлман, Вашингтон (1996). Новий, швидкий і ефективний кодек зображень, заснований на розподілі набору в ієрархічних деревах. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 6(3), 243-250.

41. Стаття: Таубман, Д. С., Марселлін, М. В. (2002). JPEG2000: основи стиснення зображень, стандарти та практика. Видавництво Kluwer Academic.

42. Стаття: Мемон, Н., і Саюд, К. (2002). Вступ до стиснення мультимедіа. CRC press.

43. Huffman D.A. A method for the construction of minimum redundancy codes / D.A.Huffman // Proc. IRE .— 1952 .— №40 .— С.1098-1101.

44. Shannon C.E. A mathematical theory of communication / C.E.Shannon // Bell System Technical Journal .— 1948 .— №27 .— С.379-423, 623-656.

45. Ziv J. An Universal Algorithm for Sequential Data Compression/J.Ziv, A.Lempel// IEEE Transactions on Information Theory.- 1977.— Vol. 23, N 3.— p. 337-343.

46. Ziv J. Compression of Individual Sequences via Variable Rate Coding/J.Ziv, A.Lempel// IEEE Transactions on Information Theory.— 1978.— Vol. 24., N 5.— p. 530-536.

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
						88
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

47. Welch T. A. A Technique for High-Performance Data Compression/T.A.Welch // Computer.— 1984.— Vol. 17., N 6.

48. Gonzalez, RC, & Woods, RE (2018). *Цифрова обробка зображень* (4-е вид.).

49. Стаття: Malik J., Perona P. "*Pyramid Methods in Image Analysis*".

50. Оппенгейм А., Шафер Р. "*Цифрова обробка сигналів*".

51. Ресурс для програмних бібліотек - OpenCV (Open Source Computer Vision Library).

					ММІВ 480.016.053- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		89

List of used sources

1. "Wavelet transform and compression" - a book written by E.D. Kandesom and D.L. Donohoe, describes the basic principles of the wavelet transform and its application to compressed images.
2. "Technologies of digital image compression" - a book written by S.S. Ahayan,
3. IEEE Journal of Image Processing
4. IEEE Signal Processing Journal
5. Journal of visual transmission and presentation of images
6. Podchashinskyi Yu.O. Compression of digital video images containing measurement information about mechanical quantities / Yu.O. Podchashinskyi // Bulletin of ZHTU. Series: Technical sciences. - 2008.
7. Podchashinsky Yu.O. Compression and conversion of digital video images with measurement information about geometric parameters of objects: monograph / Yu.O. Podchashinskyi. - Zhytomyr: Zhdtu, 2019.
8. "A Review of Wavelet Transform in Video Compression", Karanveer Singh, Amrit Kaur and Seema Ansari, International Journal of Computer Applications, Vol.75, No.14, August 2013.
9. "Wavelet-Based Video Data Compression: A Review", Tarun Kumar Sharma and Arun Kumar Singh, International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), Volume 13, Number 2, February 2015.
10. "Wavelet-Based Video Compression: A Review", Ruchi Gupta and Dinesh Goyal, International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC), Volume 3, Issue 8, August 2014.
11. "A Wavelet-Based Video Codec for Heterogeneous Network Environments" by Mohammad Al-Sadoun, International Journal of Computer Science (IJCSI), Volume 7, Issue 4, July 2010.
12. Handbook of Video Image Databases: Design and Applications, Borko Farhit and Oge Marques - 2003.
13. Designing Video Codecs: Designing Image and Video Compression Systems, Ian Richardson - 2002.

					<i>MMIB 480.016.053- ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
						90
<i>Зм.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

14. Video Compression and Communications: From Basics to MPEG4 for H.261, H.263, H.264, DVB and HSDPA Adaptive Turbo Transceivers, 2nd Edition, Lajos L. Hanzo, Peter Cherriman, Juraj Mišić, M Buddikot - 2007.

15. Video Data Coding for Mobile Communications: Efficiency, Complexity and Reliability, Mohammed Hanbari - 2002.

16. H.264 - An Advanced Video Compression Standard, Ian E. Richardson - 2010.

17. Khaldun Al-Musleha in Journal of Applied Sciences, Volume 9, Issue 24, 2009.

18. Journal: "Overview of Video Coding Techniques" by Bhupendra Singh, Neha Sharma and Mahesh Kumar in Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Volume 12, Issue 2, 2010.

19. "A Review of Video Data Compression Techniques" by R. Dhanasekaran and K. Bommanna Raja in International Journal of Computer Science and Information Technology, Volume 3, Issue 2, 2012.

20. "A Survey on Video Compression Techniques" by AM Abd El-Latif in International Journal of Computer Science and Information Security, Volume 9, Issue 3, 2011.

21. "Video Coding with H.264/AVC: Tools, Performance, and Complexity" by Jens-Rainer Ohm, Gary J. Sullivan, and Heiko Schwartz in IEEE Circuits and Systems Magazine, Volume 6, Issue 4, 2006.

22. "Encoding of video data using the H.264/MPEG-4 AVC compression standard." IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 25, issue 2, p. 145-147, 2008.

23. Wiegand T. "Overview of the H.264/AVC video data coding standard." IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 7, p. 560-576, 2003.

24. Sullivan, GJ et al. "High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard Overview". IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 22, issue 12, p. 1649-1668, 2012.

25. Liu Yu. et al. "Compression of video data in the wavelet domain using temporal filtering with motion compensation and subband coding". IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 5, p. 428-441, 2003.

					MMIB 480.016.053- ПЗ	Адк.
						91
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

26. Article: Said, A. and Pearlman, WA "A New, Fast and Efficient Image Codec Based on Hierarchical Tree Set Partitioning". IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 6, No. 3, p. 243-250, 1996.

27. Article: Zandi, M. and Hanbari, M. "A Review of Video Data Coding Algorithms for HDTV and Beyond." IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 45, issue 3, p. 689-700, 1999.

28. Article: Memon, N. and Sayoud, K. "Introduction to the Wavelet Transform." 2000. [Online]. Available: http://www.ece.uvic.ca/~nasserm/Textbook/Wavelet_Tutorial.pdf.

29. Article: Taubman, D. and Marcellin, M. "JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practices". Kluwer Academic Publishers, 2002.

30. Article: Skodras A. N. and others. "JPEG 2000 Still Image Compression Standard". IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 18, issue 5, p. 36-58, 2001.

31. Article: Sodagar I. et al. "Overview of the JPEG 2000 Image Compression Standard". IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 46, issue 4, p. 1103-1127, 2000.

32. Article: Pearson, D. "An Overview of Video Data Compression." [Online]. Available: <http://david.heathfield.net/VideoCompressionOverview.pdf>.

33. Article: Richardson, IEG "H.264 and MPEG-4 Video Compression: Encoding Video Data for Next Generation Multimedia". Wiley, 2003.

34. Article: Turapis, A. "Fundamentals of MPEG video data compression." IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 20, No. 2, p. 19-26, 2003.

35. Article: Mallat, S. G. (1999). Wavelet tour of signal processing: sparse path. Academic press.

36. Article: Manohar R., Kumar M. and Jayaraman V.K. (2015). Digital Signal and Image Processing with MATLAB, Volume 1: Fundamentals, Methods, and Algorithms. Springer.

37. Article: Thakur, A., & Thakur, M. (2014). Image and video compression based on wavelets. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 4(3), 292-298.

					MMIB 480.016.053- ПЗ	Адк.
						92
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

38. Article: Xiong, Z. and Ye, Yu. (2017). Wavelet video compression: overview and recent developments. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 28(9), 2032-2047.

39. Article: I. V. Selesnyk (2011). Discrete wavelet transform: combining a-truss and Mall algorithms. IEEE Signal Processing Magazine, 28(2), 111-128.

40. Article: Said, A. and Perlman, Washington (1996). A new, fast and efficient image codec based on set distribution in hierarchical trees. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 6(3), 243-250.

41. Article: Taubman, D. S., Marcellin, M. V. (2002). JPEG2000: image compression fundamentals, standards and practices. Kluwer Academic Publishing House.

42. Article: Memon, N., and Sayud, K. (2002). An introduction to multimedia compression. CRC press.

43. Huffman D.A. A method for the construction of minimum redundancy codes / D.A.Huffman // Proc. IRE .— 1952 .— №40 .— C.1098-1101.

44. Shannon C.E. A mathematical theory of communication / C.E.Shannon // Bell System Technical Journal .— 1948 .— №27 .— C.379-423, 623-656.

45. Ziv J. An Universal Algorithm for Sequential Data Compression/J.Ziv, A.Lempel// IEEE Transactions on Information Theory.- 1977.— Vol. 23, N 3.— p. 337-343.

46. Ziv J. Compression of Individual Sequences via Variable Rate Coding/J.Ziv, A.Lempel// IEEE Transactions on Information Theory.— 1978.— Vol. 24., N 5.— p. 530-536.

47. Welch T. A. A Technique for High-Performance Data Compression/T.A.Welch // Computer.— 1984.— Vol. 17., N 6.

48. Gonzalez, RC, & Woods, RE (2018). Digital image processing (4th ed.).

49. Article: Malik J., Perona P. "Pyramid Methods in Image Analysis".

50. Oppenheim A., Shafer R. "Digital signal processing".

51. Resource for software libraries - OpenCV (Open Source Computer Vision Library).

					MMIB 480.016.053- ПЗ	Адк.
						93
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		