

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Wavelet-стиснення вимірювальної відеоінформації в
комп'ютеризованих інформаційно вимірювальних системах**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-2
спеціальності 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

(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 Ткачук А. Г.

к.т.н., доцент, зав. катедри РЕТ та А

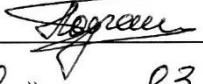
(прізвище та ініціали)

Житомир 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

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


« 30 » 03 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент: Обремський Андрій Миколайович

1. Тема роботи: Wavelet - стиснення вимірювальної відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах.

Затверджена Наказом по університету від «30» березня 2023 р. № 129/с

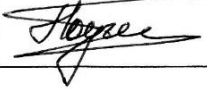
2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «10» 06 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Як метод вейлет-стиснення впливає на якість відеозображення; тому вейлет-стиснення найкращий метод для стиснення відеозображення. Зображення різних видів деревини, які підлягають стисненню

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
Чи надійний метод вейлет-стиснення для роботи, які функції виконує вейлет-стиснення, в яких галузях застосовують вейлет-стиснення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
зображення різних видів деревини; гоміоморфних зображень вейлет-перетворення; десять чардріків пошкоджень; та дев'ять формул.

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 30.03.23

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми роботи	14.02.2023	
2	Формування завдання на роботу	02.03.2023	
3	Пошук джерел інформації	26.03.2023-10.04.2023	
4	Написання 4 розділів	12.04.2023-02.05.2023	
5	Виконання практичної частини	10.05.2023-15.05.2023	
6	Написання 5-го розділу	20.05.2023-01.06.2023	
7	Формування висновків	02.06.2023-08.06.2023	

Студент


(підпис)

Одрусский Н. М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Подчашинський Ю.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Wavelet-стиснення вимірювальної відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно вимірювальних системах» містить 82 сторінок, 27 рисунків, 11 формул та 47 джерел.

В даній кваліфікаційній роботі досліджено методи Wavelet 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 82 pages, 27 figures, 11 formulas and 47 sources.

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 80 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що має шість розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Темою роботи є Wavelet-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.

Розділ технічне завдання містить вимоги до розробки кваліфікаційної роботи.

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

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.

Розділ безпека життєдіяльності та охорона праці описує, які небезпеки можуть вплинути на оператора системи та правила поводження з електроприборами та комп'ютерною технікою.

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 80 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 Wavelet 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 technical task section contains the requirements for the development of the qualification work.

In the second chapter, the wavelet compression methods of digital video images are reviewed and analyzed, the types of compression methods are shown, the functions that they can perform are described, and the practical measurement tasks they can perform based on wavelet compression of video images are considered.

In the third 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.

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.

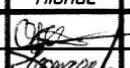
In the section of experimental studies, errors in the video channel are determined and the errors of the coordinates of the research objects, the results of the displays on the graphs are investigated.

The life safety and occupational health section describes the hazards that may affect the system operator and the rules for handling electrical appliances and computer equipment.

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. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	10
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ WAVELET-СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ.....	13
2.1. Основні поняття про стиснення цифрового відеозображення.....	13
2.2. Обробка, аналіз та стиснення відеозображень на основі Wavelet-перетворення.....	22
2.3. Практичні задачі в галузі вимірювань та контролю, що можуть бути вирішені на основі вейвлет перетворення та стиснення відеозображень.....	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ З ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ.....	34
3.1. Стиснення цифрового відеозображення на основі вейвлет-перетворення.....	
3.2. Оцінка похибок вимірювальної інформації на відеозображеннях, відновлених після стиснення.....	40
3.3. Переваги та недоліки Wavelet-стиснення.....	43
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ WAVELET-СТИСНЕННЯ ТА ОЦІНКИ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	48
4.1. Алгоритми вейвлет-стиснення.....	48
4.2. Програми вейвлет-стиснення.....	48
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ.....	50
5.1. Дослідження амплітудних похибок у відеоканалі.....	50
5.2 Дослідження похибок координат об'єктів.....	57
РОЗДІЛ 6. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТКИ.....	77

					МММТ 480.014.012- ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Обремський А.М.			Wavelet-стиснення відеоінформації в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах			Літ.	Арк.	Архів
Перевірив		Подчашинський							7	80
Рецензент		Ткачук А.І.						Державний Університет «Житомирська політехніка».		
Н. квітня										

ВСТУП

В даний час актуальною є проблема зберігання великих об'ємів інформації. Навіть сучасні розробки ЕОМ не можуть досягнути достатнього обсягу пам'яті для зберігання та обробки інформації. Особливо це стосується відеозображень, що за своєю природою, зазвичай, становлять кіло- та мегабайти інформації. Цифрові зображення займають все більшу частину інформаційного світу. Розвиток Інтернету, наряду із доступністю все більш сильних комп'ютерів і прогресом у технології виробництва цифрових камер, сканерів та принтерів, призвели до широкого використання цифрових відеозображень. Одним із рішень у цьому питанні є скорочення обсягів файлів саме за рахунок стиснення. Існує багато методів стиснення, що у свою чергу класифікуються відповідно до виду інформації, що підлягає стисненню. Стиснення даних важливо як для швидкості передачі, так і ефективності зберігання. У нашому випадку розглянуто найпоширеніші методи стиснення відеоінформації, що використовуються для стаціонарних відеозображень. Рішення проблеми стиснення, або у більш загальному розумінні, кодування відеозображень, використовувало досягнення і стимулювало розвиток багатьох областей техніки і математики.

Враховуючи особливості відеозображень, що розглядаються у роботі, а саме зображень структур природного походження, необхідним є обрання методу, якому властиві наступні характеристики:

- великий коефіцієнт стиснення;
- відносно мала похибка;
- проста реалізація;
- швидке обчислення.

Таким є метод Wavelet-перетворення. Цифровим відеозображенням, зокрема зображенням структур природного походження, властивий високий рівень надмірності. Але при використанні методу Wavelet виникає можливість уникнути цього і зберегти для подальшого використання еквівалент вихідного зображення.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		6

Метою даної роботи є удосконалення існуючих методів стиснення відеозображень об'єктів природного походження та підвищення степеня стиснення, насамперед за рахунок заміни дискретного косинусного перетворення на Wavelet-перетворення.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати найпоширеніші методи стиснення, що використовуються у сучасності, стосовно відеозображень структур природного походження, визначити основні переваги та недоліки кожного;
- провести більш глибокий аналіз обраного методу стиснення, для обрання вейвлет-функції, яка стане основою для подальшого кодування інформації
- розробити модель вейвлет-стиснення відеозображень текстур природного походження з метою подальшого практичного використання.

Актуальність теми: Вайвлет-стиснення - один з найефективніших методів стиснення відеоданих, який гарантує збереження якості зображення при зменшенні його розміру.

Основною причиною важливості цієї теми є постійно зростаючий обсяг відеоданих, що виробляються та обмінюються в сучасному суспільстві. Відеофайли займають великий обсяг пам'яті і вимагають великої пропускної здатності для передачі по мережі. Стиснення відеозображень економить пропускну здатність і ресурси зберігання, зменшуючи обсяг даних, які потрібно передавати або зберігати.

Вайвлет-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. Вайвлет-стиснення також може зменшити обсяг даних без помітної різниці в якості зображення, оскільки дозволяє зберегти деталі зображення і відкинути менш важливі деталі.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						7
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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.

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.

Предмет дослідження:

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.

					Лист
					8
Зм	Лист	№ докум	Піппл	Лат	

МММТ 480.014.012- ПЗ

Об'єкт дослідження:

Об'єктом 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.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						9
Зм	Лист	Но докум	Піппи	Лат		

РОЗДІЛ 1.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Огляд завдання:

1.1. Загальний опис Метою цього проекту є розробка системи вейвлет-стиснення зображень, яка може ефективно зменшувати розмір зображень без помітної втрати їх якості.

1.2. Застосування - системи вейвлет-стиснення зображень можуть бути використані в різних ситуаціях, таких як передача зображень по мережі, зберігання зображень на пристроях з обмеженою пам'яттю.

1.3. Основні функції - виконує вейвлет-перетворення зображення. - Квантування коефіцієнтів вейвлет-перетворення. - Кодування квантованих коефіцієнтів та формування стисненого представлення зображення. - Відновлення зображень зі стисненого представлення.

1.4. Технологія - система може бути реалізована з використанням таких мов програмування, як Python, C++ та MatLab, а також пакетів обробки зображень, таких як OpenCV та PIL.

1. Системні вимоги:

2.1. Функціональні вимоги:

2.1.1. Виконувати вейвлет-перетворення: - Повинні бути можливі дискретні вейвлет-перетворення зображень. - Повинні підтримуватися різні вейвлет-функції, такі як Добеші, Хаара та Сімлета. - Визначення рівня декомпозиції для контролю рівня стиснення зображення.

2.1.2. Квантування: - Можливість квантування коефіцієнтів вейвлет-перетворення зображення. - Параметризація рівнів квантування для досягнення різних рівнів стиснення.

2.1.3. Кодування: - Розробка ефективних алгоритмів для кодування квантованих коефіцієнтів. - Використовуються такі методи стиснення даних, як алгоритм Хаффмана та арифметичні алгоритми кодування.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						10
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

2.1.4. Відновлення зображення: - Можливість відновлення зображення зі стисненого зображення, збереженого у форматі, отриманому після кодування.

- Повинна бути забезпечена висока якість відновленого зображення,

2.2. Нефункціональні вимоги:

2.2.1. продуктивність: - обробка зображень у реальному часі або ефективна робота системи з мінімальною підтримкою. - Час обробки зображень повинен бути мінімізований під час роботи системи.

2.2.2. Масштабованість: - система повинна бути масштабованою для підтримки різних типів зображень (наприклад, чорно-білих, кольорових тощо). - Здатність працювати з великими розмірами та форматами зображень.

2.2.3. Інтерфейс: - Розробити зручний та інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс користувача (GUI) для взаємодії з системою. - Забезпечити можливість завантаження та зберігання зображень у різних форматах. - Підтримувати налаштування параметрів тиснення та вибір рівня якості зображення.

3. План реалізації:

3.1. Аналіз вейвлет-стиснення - Вивчити основні принципи та методи вейвлет-стиснення зображень. - Вибрати відповідні вейвлет-функції та алгоритми для застосування в системі.

3.2. Розробка алгоритмів: - Реалізувати алгоритми вейвлет-перетворення зображень. - Розробити алгоритми квантування та коефіцієнтного кодування. - Реалізувати алгоритми відновлення зображень зі стиснених подань.

3.3. Реалізація інтерфейсу: - Розробити графічні інтерфейси користувача для взаємодії з системою. - Реалізувати можливість завантаження та зберігання зображень у різних форматах. - Реалізувати можливості налаштування параметрів стиснення та вибору рівня якості.

3.4. Тестування та налагодження - Провести тестування системи із зображеннями з різним рівнем стиснення. - Виявлення та усунення помилок і дефектів у роботі системи.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		11

4. План тестування:

4.1. Функціональне тестування: - Перевірити точність вейвлет-перетворення та відновлення зображень. - Перевірка точності квантування та кодування коефіцієнтів. - Перевірка якості відновлених зображень при високих ступенях стиснення.

4.2. Тести швидкості - Виміряйте час обробки зображень великого розміру і ступеня стиснення. - Перевірте відповідність вимогам до продуктивності та затримок системи.

4.3. Тестування стабільності: - Протестуйте систему на великих зображеннях з різними характеристиками, щоб виявити потенційні проблеми та помилки. - Перевірте стійкість системи до некоректних або пошкоджених вхідних даних.

4.4: - Порівняйте якість відновленого зображення з оригінальним і оцініть ступінь погіршення якості.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						12
Зм	Лист	Но докум	Піппи	Лат		

РОЗДІЛ 2.

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ WAVELET-СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ

2.1. Основні поняття про стиснення цифрового відеозображення

Стиснення відеоінформації - це процес зменшення об'єму великих обсягів відеоданих для ефективного зберігання, передавання та оброблення. 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 передбачення широко використовуються в сучасних системах поліпшення відеоінформації і можуть бути розділені на дві основні категорії: методи передбачення і методи, що не включають передбачення.

- **Метод передбачення**

Методи передбачення в стисненому відео описують принцип генерації наступних кадрів на основі попередніх. Одним з найпоширеніших методів передбачення є покадрове стиснення, коли ключові кадри (внутрішньокадрові) і проміжні кадри (міжкадрові) кодуються незалежно. У той час як ключові кадри кодуються незалежно, проміжні кадри потребують інформації з попереднього кадру і прогнозуються та кодуються шляхом оцінки різниці між ними.

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

- **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 зображення та вдосконалення існуючих алгоритмів є активними напрямками досліджень. Впровадження нових ідей, таких як глибоке навчання, штучний інтелект і машинне навчання, відкриває нові перспективи для стиснення зображення. Це призведе до розробки більш ефективних і гнучких методів стиснення, які враховують характеристики відео і вимоги додатків.

Майбутні розробки в галузі стиснення зображення 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 вайвлет-аналіз, глибоке та машинне навчання, покращують ефективність стиснення та якість відеоінформації. В результаті користувачі можуть насолоджуватися високоякісним відео на різних платформах і пристроях.

Однією з останніх тенденцій у сфері стиснення зображення є розвиток адаптивного стиснення.

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

При використанні адаптивного стиснення відеоінформація розбивається 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 відеоданих. Забезпечення низької затримки та високої якості відтворення в режимі реального часу залишається основним викликом. Тому існує нагальна потреба в розробці алгоритмів стиснення, які ефективно використовують пропускну здатність мережі та забезпечують низьку затримку.

Нарешті, з розвитком віртуальної реальності (VR) і доповненої реальності (AR) стиснення відеоданих набуло особливого значення. Віртуальна реальність вимагає високоякісного відеозображення з високою роздільною здатністю, високою частотою кадрів в секунду і низькою затримкою, щоб створити ефект занурення для користувача. Однак віртуальна реальність також вимагає високої пропускної здатності для передачі великих обсягів відеоданих у реальному часі.

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.

МММТ 480.014.012- ПЗ

Лист

15

Зм	Лист	Но докум	Підпис	Дат	

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

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 вайвлет-аналіз. Вайвлет-аналіз використовує математичний інструмент під назвою вайвлети для розкладання відеоданих на різні частотні та просторові інформаційні компоненти. Це дозволяє ефективно відображати і стискати відеодані.

Використання вайвлет-аналізу для стиснення зображення дозволяє досягти високого ступеня стиснення за рахунок видалення високочастотного шуму і неважливих деталей, зберігаючи при цьому важливу інформацію, таку як форма відео, текстура і рух. Вайвлет-аналіз також адаптується до розміру відеопотоку, забезпечуючи різну роздільну здатність і якість відтворення залежно від потреб користувача і ресурсів пристрою.

Крім вайвлет-аналізу, інші методи стиснення відео включають блокове стиснення, прогресивне стиснення, предиктивне кодування та ієрархічне стиснення. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження і використовується залежно від 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.

МММТ 480.014.012- ПЗ

Лист

16

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

Прогресивне стиснення - це ще один метод стиснення відео, який забезпечує поступове поліпшення якості відтворення. У цьому методі відеоінформація кодується у вигляді серії прогресивних шарів з додатковою інформацією для покращення якості відтворення.

Перший шар містить базову інформацію, яка забезпечує низькоякісний, але швидкий перегляд зображення, тоді як наступні шари містять детальну інформацію для покращення якості зображення. Це дозволяє відеопотоку адаптуватися до доступних джерел і можливих пристроїв відтворення.

Предиктивне кодування є важливою технікою відеореальності і базується на використанні статистичного аналізу та моделюванні руху об'єктів у відеоданих. Воно використовується для передачі лише відмінностей між послідовними кадрами, а не для повного кодування окремих кадрів.

Передаючи більше даних, можна зменшити розмір відеопотоку. Предиктивне кодування може передавати інформацію за допомогою алгоритмів, які враховують взаємозв'язки між кадрами, наприклад, квантування векторів руху.

Ієрархічне стиснення - ще один ефективний метод стиснення відеоданих, який використовує підхід, що створює різні рівні деталізації відеоданих. Він розділяє відеокадр на блоки і створює різні рівні деталізації для кожного блока. Нижчі рівні представляють загальну інформацію про зображення, тоді як вищі рівні надають більше деталей. Під час відтворення відео вони можуть використовуватися відповідно до наявних ресурсів і вимог користувача, ефективно використовуючи 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.

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 зображення. Ці технології забезпечують вищу пропускну здатність і меншу затримку, що дає змогу передавати великі обсяги відеоданих у реальному часі. Це відкриває шлях до високоякісного потокового відеозображення та використання віртуальної і доповненої реальності. [15]

Загалом, стиснення зображення стало невід'ємною частиною сучасних мультимедійних технологій. Розробники продовжують працювати над вдосконаленням гнучких методів, які пропонують вищу ефективність, якість і адаптивність до різних сценаріїв. Це дозволяє насолоджуватися високоякісним відеоданих на широкому спектрі пристроїв і платформ, незалежно від ресурсних обмежень.

Ще однією тенденцією в стисненні відеоданих є використання адаптивного потокового передавання. Адаптивне потокове передавання використовує такі технології, як Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) і HTTP Live Streaming (HLS) для автоматичного регулювання якості зображення при зміні умов мережі та пристрою відтворення.

Потім відеодані розбивається на менші фрагменти різної якості, а пристрій відтворення автоматично вибирає найкращу якість для поточних умов. Це забезпечує безперебійне відтворення відеоінформації навіть при обмеженій пропускній здатності мережі.

Стиснення відео є важливим питанням в області обробки відеоданих, оскільки сучасні відеофайли стали дуже великими і вимагають великих обсягів зберігання і передачі. Ефективні методи стиснення відео дозволяють зменшити розмір файлу при збереженні прийняттого рівня якості зображення.

Види методів стиснення:

MPEG (Moving Picture Experts Group): MPEG - один з найпоширеніших стандартів стиснення відеоданих. Він використовує стиснення з втратами, що призводить до зменшення розміру файлу і втрати частини інформації; MPEG пропонує високу гнучкість і хорошу якість зображення, але деякі частини відео можуть бути втрачені.

H.264 (AVC - Advanced Video Coding): H.264 - одна з найпотужніших схем стиснення відеоданих, яка використовується для передачі високоякісного зображення через Інтернет. Він 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 більш надійний, ніж H.264. Завдяки використанню більш ефективних алгоритмів стиснення він зменшує розмір файлу, зберігаючи високу якість зображення; 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)- формат схема якого лежить в основі JPEG полягає в наступному. Після переведу повнокольорового зображення з колірного простору RGB (red, green, blue) в колірний простір

Усі	Сб				МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		19

(Y- люмінесцентна складова, Cr- хроматичний червоний, тобто теплі тони, і Cb- хроматичний синій- холодні тони), зображення розбивається на квадрати розміру $8 \times 8 \times 8$ пікселів. До кожного з цих квадратів застосовується дискретне косинус- перетворення Фур'є.

JPEG2000. Розробка JPEG2000 почалася в 1996 році. Якраз з цього часу стала ясною істотна перевага алгоритмів стиску на основі вейвлетів перед ДКП, використаним в JPEG. Проте, тільки ради збільшення ступеня стиску не варто було б витрачати величезні кошти. При створенні нового стандарту, разом з досягненням більшої ефективності стиску ставилися ще і наступні цілі:

Стійкість алгоритму до помилок каналу зв'язку при передачі стислого зображення. Тут видно націленість нового стандарту на мобільні застосування, на передачу зображень по радіоканалу.

Уніфікована архітектура декодера. У JPEG реалізовано 44 різних режимів декодування, залежно від його застосування. Синтаксис JPEG2000 такий, що в незалежності від вживаного способу кодування використовується один і той же декодер.

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.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						20
Зм	Лист	Юр. юрид.	Підпис	Лист		

Наприклад, якщо метою є зменшення розміру файлу зі збереженням тієї ж якості зображення, хорошим вибором буде H.265 або AV1. Якщо пропускна здатність мережі обмежена, ефективним варіантом може бути VP9. Якщо важлива висока сумісність між пристроями та платформами, надійним стандартом може бути MPEG. [14; 21-23; 33]

Недоліком схем стиснення з втратами, таких як MPEG, H.264, H.265 і VP9, є певна втрата якості зображення. Чим вищий ступінь стиснення, тим більше деталей може бути втрачено. Крім того, використання більш ефективних методів стиснення, таких як H.265 і AV1, може вимагати більшої обчислювальної потужності, що може бути обмежуючим 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, який стискає кожен кадр зображення окремо з втратами. M-JPEG забезпечує високу якість зображення та швидке відтворення, але вимагає багато пам'яті для зберігання відеофайлу.

Ієрархічне кодування: підхід до стиснення відеоданих, який використовує ієрархічну структуру для поділу зображення на шари різної якості та роздільної здатності. Це дозволяє передавати і відтворювати зображення з різною якістю залежно від доступних ресурсів і пропускної здатності мережі. Ієрархічне стиснення забезпечує адаптивність і масштабованість, але вимагає складнішої обробки та декодування.

Векторне квантування (VQ): Цей метод стиснення відеоданих 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.

Метод стиску Хаффмана (Huffman, 1952) - це загальна схема стиску інформації, для дискретних даних різної природи [1]. Ідея методу полягає в заміні даних ефективнішими кодами, і складається з привласнення бінарного коду кожній унікальній величині. Коротші коди використовуються для тих величин, що зустрічаються частіше. Ці привласнення зберігаються в таблиці перекодування, яка завантажується в декодуючу програму перед самими кодами.

Словарні методи стиску LZ. Найпоширеніші на сьогоднішній день методи стиску засновані на словарних алгоритмах. Існують дві гілки словарних алгоритмів. Перша бере початок від алгоритму LZ77 [3] і ґрунтується на заміні рядка символів в потоці на посилання на такий же рядок, що раніше зустрівся, з довжиною замінюваного рядка. Друга походить від алгоритму LZ78 [4]. У алгоритмах цієї гілки по ходу роботи заповнюється словник. Якщо у вхідному потоці зустрівся рядок, вже присутній в словнику, він замінюється на відповідний номер елемента словника. В даний час LZ77-подібні алгоритми практично не використовуються самостійно - створена безліч вдалих комбінованих алгоритмів, де вихідний потік LZ77-подібного алгоритму стискається контекстно-вільним алгоритмом вірогідності.

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

Вайвлет-аналіз є потужним інструментом стиснення відеоданих, який може одночасно витягувати просторову та частотну інформацію зображення. Вайвлет-аналіз використовується для декомпозиції відеопослідовності на різні частоти і рівні деталізації різної складності.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						22
Зм	Лист	Но докум	Підпис	Дат		

Одним з найпоширеніших методів вайвлет-аналізу при стисненні зображення є використання 2D дискретних вайвлет-перетворень.

Використання 2D дискретних вайвлет-перетворень (2D DWT) для декомпресії відеопослідовностей з різним рівнем деталізації за частотою і складністю дозволяє компактно відображати зображення, зберігаючи важливі деталі і виділяючи незначні зміни.

Стиснення відео за допомогою вайвлет-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: отримані вайвлет-коефіцієнти розкладаються після квантування, що знижує точність представлення. На цьому етапі покращується ступінь стиснення та 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 та реконструюються шляхом декомпресії коефіцієнтів, зворотного перетворення вайвлет-аналізу та реконструкції 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: під час використання методів стиснення відео, в першу чергу необхідно проаналізувати 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 відеозображення не дозволяють досягти високого ступеня стиснення зі збереженням важливих деталей і якості

зображення. Гнучкість у виборі рівня деталізації для стиснення дозволяє пристосувати стиснення до конкретних характеристик відеозображення.

Типовим методом вайвлет-аналізу є вайвлет-паketне перетворення, яке дозволяє розкласти відео на більш дрібні деталі для підвищення якості стиснення.

Використовуючи вайвлет-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 вайвлет-аналізу при роздільній здатності відео є також обчислювально складним і витратним з точки зору обчислювальних ресурсів після обробки великої кількості вайвлет-коефіцієнтів.

Загалом, методи вайвлет-аналізу є ефективними інструментами для стиснення відеозображення, які дозволяють досягти високих ступенів стиснення при збереженні якості зображення.

До сучасних об'єктивних показників належать пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR), індекс структурної подібності (SSIM) та багатовимірна оцінка відеозображення (VMAF). Ці показники порівнюють стиснене зображення з оригінальним і оцінюють різні аспекти, такі як розмиття, зміни кольору і рівень шуму.

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, активним напрямком досліджень є розробка нових методів стиснення відео на основі вайвлет-аналізу.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		24

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 одним напрямком досліджень є використання вайвлет-аналізу для стиснення відеозображення високої роздільної здатності та потокового відеозображення.

Зі зростанням популярності форматів зображення високої роздільної здатності та потокового зображення важливо розробляти ефективні методи стиснення, які забезпечують високу якість відтворення при обмежених ресурсах.

Загалом, теоретичні аспекти стиснення зображення та методи вайвлет-аналізу відіграють важливу роль у досягненні високого рівня стиснення відео зі збереженням якості зображення. Дослідження в цій галузі спрямовані на пошук оптимального методу стиснення, який гарантує високу якість відтворення зображення з мінімальними внутрішніми складовими.

Одним із способів підвищення ефективності стиснення відео 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. Вайвлет-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 може збільшити обсяг даних і обчислювальне навантаження. Для забезпечення ефективності стиснення можна застосувати методи квантування та кодування, щоб відкинути менш важливі коефіцієнти та зменшити обсяг даних.

Таким чином, теоретичні аспекти стиснення зображення та методи вейвлет-аналізу є важливим підґрунтям для розробки ефективних алгоритмів стиснення зображення. Дослідження в цій галузі спрямовані на покращення якості стисненого зображення, зменшення об'єму даних, ефективну передачу та зберігання відеоінформації.

Використання методів стиснення відеозображення, в тому числі вейвлет-аналізу, вимагає компромісу між стисненням і якістю. Вибір найбільш підходящого методу стиснення залежить від конкретних вимог і обмежень застосування.

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

Вейвлет-аналіз - це потужний і широко використовуваний метод обробки відеозображення. Він базується на математичному інструменті вейвлет-перетворення, який може одночасно розкривати інформацію про сигнали в часовій і частотній області.

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 певну кількість рівнів роздільної здатності за допомогою вейвлет-функції. Цей метод дозволяє представляти сигнали у вигляді наближень і забезпечує детальне представлення сигналу на кожному рівні роздільної здатності.

Наближений сигнал зберігає низькочастотну інформацію, тоді як детальний сигнал містить високочастотні деталі. Коефіцієнти вайвлет-перетворення можна стиснути або відкинути, щоб отримати найкраще зображення.

Зсувне вайвлет-стиснення: цей метод використовує вайвлет-перетворення, але виконує додатковий зсув вайвлет-функції. Зсув призводить до більш гладких і регулярних вейвлет-коефіцієнтів.

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

Після застосування вайвлет-перетворення коефіцієнти вайвлет-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 вайвлет-стиснення: цей метод стискає відеодані за допомогою векторного квантування вайвлет-перетворення.

Він використовує вайвлет-перетворення до блока пікселів, а потім квантує коефіцієнти вайвлет-перетворення за допомогою векторного квантування. Векторне квантування замінює блок пікселів на наближений вектор коду з відповідним індексом. Це забезпечує високу стабільність, замінюючи найменші значення пікселів одним кодовим вектором.

Вайвлет-стиснення зі змінним бітрейтом: цей метод використовує вайвлет-перетворення, але змінює швидкість передачі даних незалежно від стабільності сцени. Зображення з великою кількістю деталей і руху вимагають високої швидкості передачі даних для збереження якості зображення, тоді як менші за розміром і складніші зображення можна стискати з меншою швидкістю.

Цей метод ефективно використовує доступну пропускну здатність мережі і підтримує високу якість зображення для значної частини відеозображення. [1-5]

Кожен з цих методів вайвлет-аналізу має свої переваги та недоліки. Дискретні вейвлет-перетворення прості в реалізації і забезпечують ефективну стійкість, але невеликі фрагменти відео можуть бути втрачені. Вайвлет-стиснення зі зсувом дає більш згладжені вайвлет-коефіцієнти і зменшує кількість артефактів, але вимагає великих обчислювальних витрат. Вайвлет-стиснення з кодуванням під час виконання підходить для сцен з повторюваними патернами, але може призвести до втрати деталей в інших типах сцен. Вайвлет-стиснення з використанням векторного квантування дозволяє досягти високої стійкості, але може погіршити якість зображення.

Вайвлет-стиснення зі змінним бітрейтом - ефективний спосіб зберегти якість зображення незалежно від стабільності сцени.

Вибір методу вайвлет-аналізу для тиснення відео залежить від конкретних вимог проекту, якості зображення, обчислювальних обмежень і доступної пропускну здатності. Розуміння переваг і недоліків кожного методу допоможе вам вибрати найбільш підходящий для вашого застосування.

Один із способів порівняти ефективність методів вайвлет-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.

Порівнюючи методи вайвлет-аналізу, важливо також 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 вайвлет-аналізу. Наприклад, якщо основною вимогою є забезпечення максимального стиснення для заданої якості зображення, відповідним вибором може бути метод вайвлет-стиснення зі зсувом. З іншого боку, якщо важлива точність деталей, може підійти метод векторного квантування вайвлет-стиснення.

Загалом, методи вейвлет-аналізу пропонують різні підходи до стиснення відео з широким діапазоном компромісів між якістю, 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 вайвлет-аналізу, використовуючи відповідні метрики та оцінки якості, щоб знайти найкраще рішення для конкретної ситуації.

На додаток до описаних вище методів, в нашій країні доступні інші передові методи вайвлет-аналізу, такі як вайвлет-упаковка, багатомасштабний аналіз і вайвлет-дерева.

Вони можуть бути використані для підвищення ефективності стиснення відео та вирішення специфічних завдань, таких як виявлення об'єктів або стиснення зображенням з широким динамічним діапазоном.

Вайвлет-аналіз є інструментом в індустрії виробництва відеозображення і використовується в широкому спектрі додатків, включаючи потокове відео, зберігання відеофайлів і мережеву передачу відеоданих.

З розвитком технологій методи вайвлет-аналізу продовжують розвиватися, відкриваючи нові можливості для ефективної обробки зображення та покращення якості зображення.

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

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

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						29
Зм	Лист	Но докум	Підпис	Дат		

Однак передача HDR-відеозображення вимагає більшої пропускну здатності та обсягу даних, що створює проблеми для стиснення відео з високодинамічною графікою.

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 цій главі описано основні принципи стиснення зображення, 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 вайвлет-аналізу, що використовуються для стиснення відео.

Вайвлет-аналіз ґрунтується на розкладанні сигналу на різні масштаби, часові та просторові частоти. Цей метод дозволяє представити відеодані у вигляді виграшу, отриманого з мінімальною втратою якості. Використовуючи вайвлет-аналіз, можна досягти більш ефективного стиснення відеоінформації і зберегти важливі деталі.

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 із найпоширеніших стандартів стиснення відеоінформації є H.264/AVC, який використовується для стиснення високоякісного зображення з мінімальними втратами. H.264/AVC використовує такі методи, як міжкадрове кодування, предиктивне кодування, просторову і тактову субдискретизацію, щоб забезпечити ефективне стиснення зображення.

Іншим важливим стандартом є H.265/HEVC, наступник H.264/AVC. H.265/HEVC забезпечує більш ефективне стиснення зображення з меншою пропускнуою 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. Кожен з цих сценаріїв має специфічні вимоги до якості відео, пропускнуої 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 пропускнуої 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 практичної точки зору стиснення відеоінформації важливо підтримувати кодеки і формати відтворення на різних пристроях і платформах.

Наприклад, відео, стиснене у форматі H.264/AVC, широко підтримується на багатьох пристроях, але для певних сцен можуть бути обрані спеціалізовані формати, такі як VP9 для веб-браузерів або HEVC для зображення високої якості. Варто також згадати про використання паралельної обробки та апаратного прискорення для ефективного стиснення зображення.

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.					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		32

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.

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 того, як різні методи стиснення зображення та їх ефективність досліджено та проаналізовано, можна приступати до розробки конкретного алгоритму стиснення, який може включати комбінацію різних методів та оптимальних параметрів 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.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА МЕТОДУ WAVELET-СТИСНЕННЯ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ З ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ.

3.1. Стиснення цифрового відеозображення на основі вейвлет-перетворення.

Стандартним методом стиснення цифрових відеозображень на основі вейвлет-перетворення є JPEG-2000. Метод стиснення відеозображень JPEG-2000 наразі визнаний найкращим і значно перевершує найпоширеніший метод JPEG за ефективністю стиснення. Метод передбачає вейвлет-перетворення цифрового відеозображення та обробку отриманих вейвлет-коефіцієнтів для отримання набагато кращого ступеня стиснення, ніж у вихідного відеозображення. З іншого боку, вейвлет-перетворення та обробка коефіцієнтів є дуже складними і вимагають великих обчислювальних потужностей. Тому JPEG-2000 використовується в ситуаціях, коли для стисненого відеозображення потрібна найвища якість, а час стиснення не є критичним. У зв'язку з цим великий інтерес представляє пошук шляхів поліпшення часових характеристик вейвлет-перетворення. [29-30]

Суть алгоритму перетворення цифрових відеозображень на основі системи JPEG-2000 полягає в наступному. До вихідного цифрового відеозображення застосовується дискретне вейвлет-перетворення з певною кількістю рівнів розкладання. Дискретне вейвлет-перетворення - це фільтрація рядка (або стовпчика) 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.

3.1.

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

Рис. 3.1. Вайвлет-перетворення одновимірного сигналу

Для двовимірних сигналів існує окреме двовимірне вейвлет-перетворення. Однак його дуже складно реалізувати і на практиці зазвичай замінюють двома одновимірними перетвореннями. Така заміна не погіршує стиснення, але значно спрощує фільтрацію: у випадку одного виміру спочатку фільтруються рядки, а потім стовпці. Відеозображення при цьому розділяється на 4 частини (рис. 4.2).

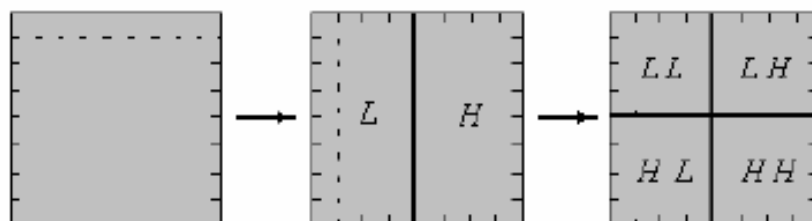


Рис. 3.2. Фільтрація двовимірного відеосигналу цифрового відеозображення

Потім ця ж процедура застосовується лише до частини фільтра, відфільтрованої фільтром нижніх частот. Цей алгоритм називається алгоритмом Малла. (рис. 3.3).

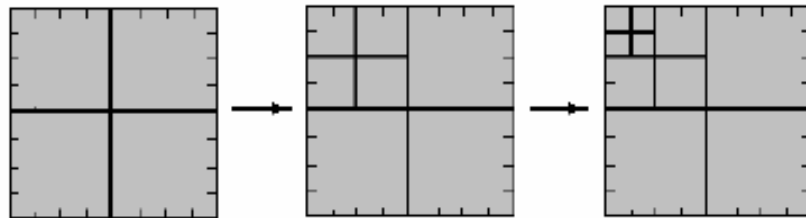


Рис. 3.3. Алгоритм Малла

Результат вейвлет-перетворення представлено на рис. 4.4.

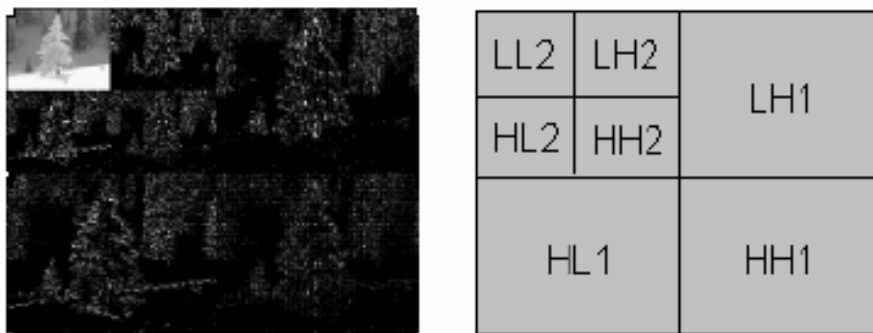


Рис. 3.4. Результат вайвлет-перетворення

У цьому випадку показано дворівневе вайвлет-перетворення. Верхня ліва частина відеозображення відфільтрована лише фільтром низьких частот і являє собою пом'якшену, зменшену копію оригінального зображення. Решта відеозображення фільтрується як низькочастотними, так і високочастотними фільтрами. Видно великі області з близькими до нуля вайвлет-коефіцієнтами та деякі яскраві елементи, що свідчить про різкі зміни яскравості оригінального відеозображення. Ця частина зображення дуже добре підходить для стиснення навіть за допомогою звичайних алгоритмів. Насправді, основною метою вайвлет-перетворення є отримання великої кількості нульових коефіцієнтів, а саме перетворення не забезпечує 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 квантуються. На етапі квантування відбувається основна втрата інформації і за рахунок квантування можливе значне зменшення представлення відеозображення. Квантування може бути рівномірним скалярним або більш складним, наприклад, векторним. У випадку рівномірного скалярного квантування його параметри можуть змінюватися залежно 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, які називаються проходом важливості, уточненням і очищенням (рис. 3.5). Імовірнісна модель арифметичного кодування використовує той факт, що коефіцієнти блоку не рівномірно перемішані, а сконцентровані в окремих областях, і значення закодованого біта можна визначити, враховуючи значення останнього 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.

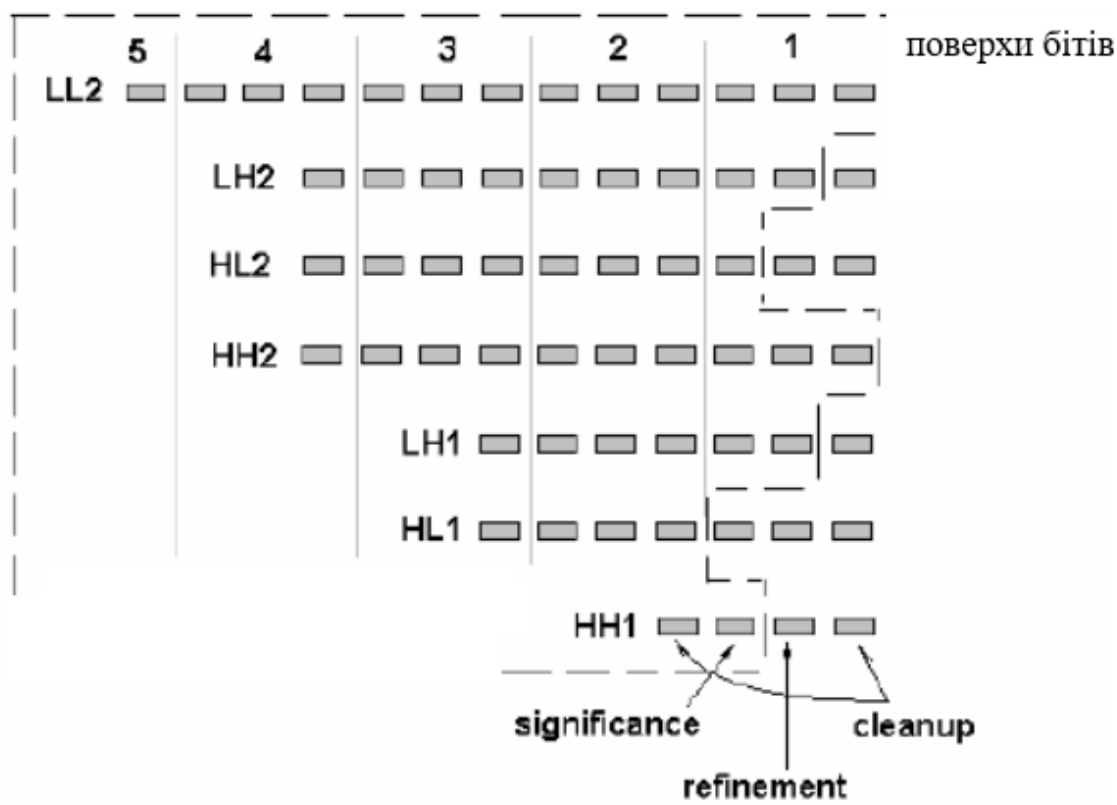


Рис. 3.5. Оптимізація довжин закодованих даних

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 виконання повного зворотного перетворення. Зворотне перетворення виконується в порядку, зворотному прямому перетворенню. Виконуючи обмежену кількість зворотних перетворень (комбінацій частотних смуг) і припускаючи, що всі частотні смуги, не задіяні в перетворенні, містять тільки нульові елементи, можна легко отримати зменшену копію відеозображення або відновлене відеозображення, але в порівнянні з відеозображенням, отриманим в результаті повного зворотного перетворення, якість зображення буде низькою.

Враховуючи той факт, що блоки вайвлет-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, поділом вихідного відеозображення на області, що не перекриваються, які кодуються як окремі відеозображення, і, по-друге, представленням кодів окремих областей у вигляді фрагментів (шарів), кожен з яких є сумарним кодом коефіцієнтів, що відповідають певній області. 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, таке представлення відеозображення не є вигідним з точки зору ефективності стиснення. Насправді, ефективність стиснення дещо зменшується зі зменшенням розміру структурних елементів. У цьому випадку стандарт JPEG-2000 залишає відкритою можливість мати інформаційне представлення, з якого частини рухомого зображення можуть бути швидко вилучені і відредаговані, в той же час не перешкоджаючи створенню інформаційного представлення, ефективного з точки зору обсягу стиснених даних.

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

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		40

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

Відеозображення перетворюється зі стандартного кольорового представлення RGB в кольорове представлення YCrCb (яскравість і кольоровість); стандарт формату JPEG-2000 визначає процедуру обчислення для цього перетворення.

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 роздільниками інформаційних потоків, тоді як маркерні сегменти містять параметри фрагментів інформації, оточених маркером. Дані, що починаються з маркера, зазвичай можуть бути правильно інтерпретовані без додаткової інформації і дають можливість часткового відновлення пошкоджених відеозображень. Додавши елементи завадостійкості, цю схему стиснення можна використовувати для телекомунікаційних застосувань.

3.2. 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)

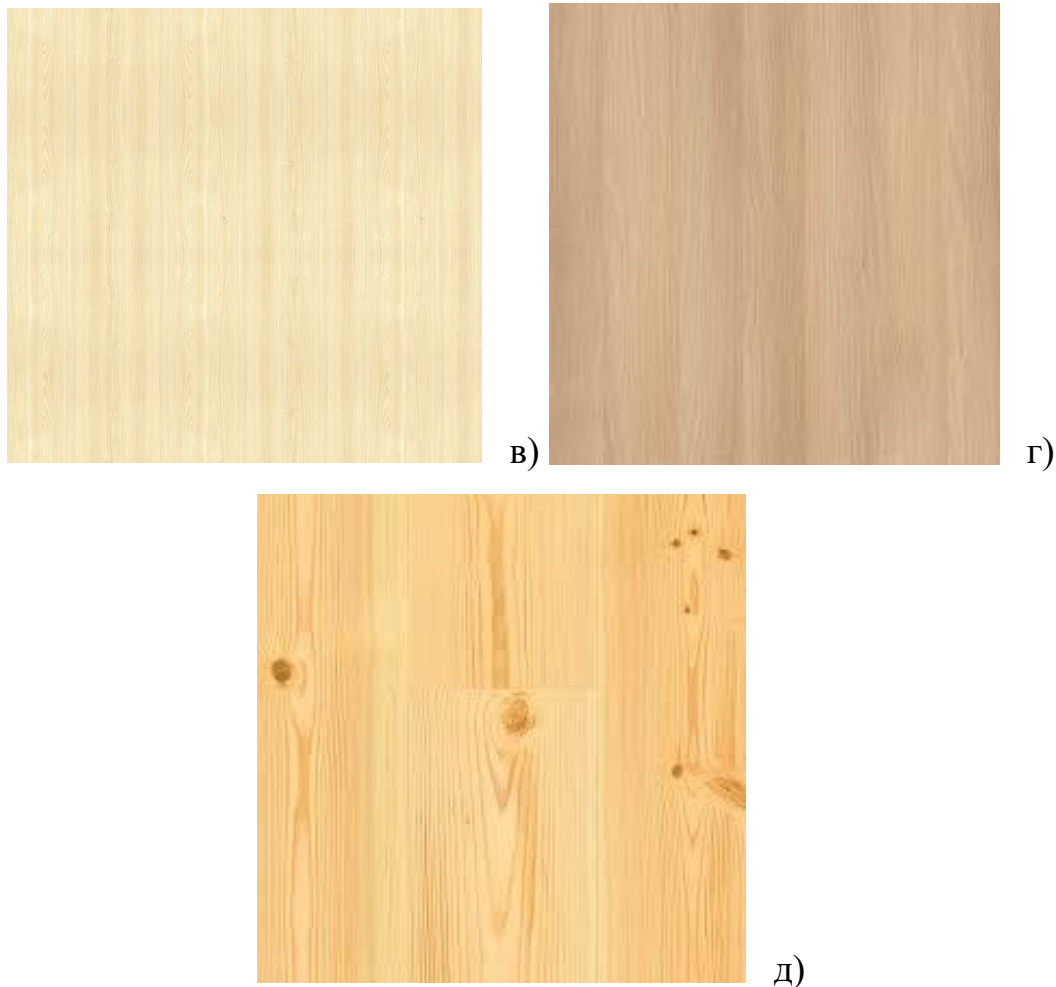


Рис. 3.6. Відеозображення поверхні промислових виробів з деревини:

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

Одним з найважливіших способів зменшити розмір відеозображення (тобто стиснути його), 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 об'єму відеозображення без покращення його якості. З іншого боку, при вимірюванні ГП об'єкта необхідно вибрати такі значення параметрів, 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. 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 невязки двох відеозображень дорівнює

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

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

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

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

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		43

$f(x, y)$ і шуму $e(x, y)$, доданого результаті стиснення, то співвідношення «сигнал-шум» буде дорівнювати:

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

3.3. переваги та недоліки Wavelet-стиснення.

Переваги вайвлет-стиснення відеозображень

1. Багатовимірність. Однією з головних переваг вайвлет-стиснення зображень є можливість відображати як просторову, так і частотну інформацію зображення. Вайвлет-перетворення дозволяють аналізувати зображення в різних масштабах і виявляти деталі на різних рівнях роздільної здатності. Це дозволяє кодувати і стискати зображення більш ефективно, зберігаючи при цьому більше деталей в інших схемах стиснення.

2. Прогресивне завантаження. Вайвлет-стиснення зображень підтримує прогресивне завантаження. Це означає, що зображення можна відображати, починаючи з низької роздільної здатності і збільшуючи якість до повної роздільної здатності. Таким чином, користувачі можуть швидко отримати приблизне зображення і покращити його якість, не чекаючи повного завантаження.

3. Компроміс між просторовою та часовою складністю. Вайвлет-стиснення зображень забезпечує баланс між просторовою та часовою складністю. Це може підвищити обчислювальну ефективність при збереженні якості зображення. Це особливо важливо при обробці великих зображень і потокових даних у реальному часі.

4. Вайвлет-стиснення зображень має чітку структуру. Це полегшує відновлення зображення після стиснення. Кожен піксель вайвлет-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 вайвлет-стиснення відеозображень

1. Обчислювальна інтенсивність. Вейвлет-стиснення зображень вимагає набагато більше обчислювальних ресурсів, ніж методи стиснення з використанням, наприклад, DCT (Discrete Cosine Transform - дискретне косинусне перетворення). Процес вайвлет-перетворення вимагає багато обчислювальної роботи, особливо для великих зображень.

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

2. Чутливість до шумів. Вайвлет-стиснення зображень може бути чутливим до шумів, особливо при використанні вайвлет-перетворень високої роздільної здатності. Шум може вплинути на якість і відновлення зображення, включаючи артефакти і втрату деталей. Для зменшення цього ефекту можна використовувати методи попередньої обробки зображень і фільтрації шуму.

3. Втрати без втрат. Багато методів стиснення зображень на основі вайвлетів є методами без втрат, що означає, що деяка інформація про зображення втрачається під час стиснення. Ці втрати можуть бути незначними і 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 вайвлет-стиснення зображень, особливо більш агресивні методи стиснення, можуть призвести до втрати просторової інтерпретації.

Це означає, що деталі та структура зображення втрачаються або спотворюються під час процесу стиснення, що може бути неприйнятним для деяких компонентів, де точність інтерпретації є важливою.

Вайвлет-стиснення зображень має такі переваги, як багатовимірність і прогресивне навантаження, але такі недоліки, як висока обчислювальна складність і чутливість до шумів. Тому стиснення вимагає критичного підходу при виборі методу і оптимальних параметрів для конкретного завдання стиснення зображення.

Вплив масштабування та зміни розміру Вайвлет-стиснення зображень може бути чутливим до масштабування та зміни розміру зображення.

Зміна розміру або зсув зображення до або після стиснення, може призвести до погіршення якості зображення та появи артефактів на реконструйованому зображенні. Для мінімізації цього ефекту можна використовувати методи декомпресії вайвлет-коефіцієнтів або методи, які адаптують стиснення до змін масштабу.

Труднощі з відновленням частин зображення: вайвлет-стиснення може бути не дуже ефективним, коли потрібно відновити певні частини зображення, наприклад, для цілей редагування або медичної діагностики. Часткове відновлення зображення може вимагати декодування і відновлення всього зображення, що може зайняти багато часу і вимагати 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 зображень: вайвлет-стиснення кольорових зображень може бути складним процесом, оскільки потрібно враховувати не лише яскравість, але й кольорову складову. Вайвлет-стиснення можна виконувати окремо для різних каналів кольорового зображення.

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.

Вайвлет-стиснення зображень є поширеним методом стиснення, який, незважаючи на свої недоліки, пропонує компроміс між стисненням і відновленою якістю зображення. Важливо вибрати метод вайвлет-стиснення, дослідити його параметри відповідно до ваших конкретних потреб і обмежити завдання стиснення зображення. Чутливість до різних типів зображень: вейвлет-стиснення зображень може працювати по-різному для різних типів зображень. Деякі типи зображень, такі як текстуровані зображення або зображення з великою кількістю дрібних деталей, можна стискати за допомогою вайвлет-перетворень, оскільки вони мають локальні особливості, які можна добре представити за допомогою вейвлетів. Однак для інших типів зображень з плавними переходами або великими однорідними областями 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, що не залежать від роздільної здатності вайвлет-стиснення зображень впливає на відновлення якості в залежності від роздільної здатності.

Для зображень високої роздільної здатності з великою кількістю дрібних

деталей вайвлет-стиснення є більш ефективним.

					Док
Зм	Док	Ю доум	Піпп	Лат	47

МММТ 480.014.012- ПЗ

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

Вайвлет-стиснення може спричинити непотрібні спотворення та артефакти на зображеннях з низькою роздільною здатністю. Це пов'язано з тим, що воно фокусується на дрібних деталях, які можуть бути втрачені або спотворені.

Обчислювальна складність: вайвлет-стиснення зображень вимагає значних обчислювальних ресурсів, особливо для великих зображень і складних компонентів.

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

Стійкість до шумів: вайвлет-стиснення зображень може бути чутливим до шуму на зображенні. Навіть невеликі рівні шуму можуть спотворити вайвлет-коефіцієнти і погіршити якість відновленого зображення. Це особливо помітно при використанні агресивних методів стиснення. Для компенсації цього ефекту можна використовувати методи фільтрації, або додаткові методи для покращення якості зашумлених зображень.

Перш ніж застосовувати вейвлет-стиснення зображень у конкретному контексті, важливо ретельно оцінити його переваги та недоліки. Враховуючи характеристики зображення, вимоги до якості та ресурси, можна прийняти обґрунтоване рішення щодо того, чи вайвлет-стиснення або інші методи стиснення зображень дадуть найкращі результати.

РОЗДІЛ 4

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

4.1. Алгоритми вайвлет-стиснення.

Огляд вайвлет-стиснення та його застосування для обробки відео.

Вейвлет-перетворення: визначення та потужність дискретного вайвлет-перетворення (DWT); обговорення використання двовимірних та багатовимірних вайвлет-перетворень.

Стиснення вайвлет-коефіцієнта: опис методів стиснення, включаючи порогове значення, квантування та модифікацію періоду кодування.

Бітове кодування: огляд методів кодування стиснених вайвлет-коефіцієнтів, включаючи арифметичне кодування, кодування Хаффмана і контекстні моделі.

Відновлення зображень: опис процесу відновлення зображення зі стиснутими вайвлет-коефіцієнтами за допомогою оберненого вайвлет-перетворення (IDWT).

4.2. Програми вайвлет-стиснення.

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

Реалізація алгоритму: визначте структуру програми та реалізуйте кроки алгоритму вайвлет-стиснення. Описати використання вбудованих функцій та бібліотек для вайвлет-перетворень та кодування.

Налаштування параметрів: пояснити вплив різних параметрів, таких як рівень роздільної здатності, поріг та схема кодування, на якість стисненого відео.

Оцінка похибок у відео вимірювальної інформації:

Виявлення шуму: ознайомлення з алгоритмами виявлення шуму у відеоданих, такими як адаптивні гаусові та медіанні фільтри.

Корекція артефактів: представлено методи фільтрації та інтерполяції артефактів, таких як блокові артефакти та москітні ефекти.

Оцінка якості відео: Пояснюється, як кількісно оцінити помилки за допомогою метрик якості відео, таких як PSNR, SSIM і MS-SSIM.

У цьому розділі надається огляд алгоритмів вайвлет-стиснення та оцінки похибок для відео вимірювань. Залежно від контексту і конкретного завдання, ви можете вивчити і розширити кожен підрозділ, включивши в нього конкретні алгоритми, програмні реалізації та методи оцінювання похибок.

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.

					Лист
					51
Зм	Лист	Но докум	Піппи	Лат	

Похибки відтворення кольору об'єктів розраховувалися окремо для кольорового відеозображення та його напівтонового еквівалента. Основна відмінність між цими розрахунками полягає в тому, що кольорове відеозображення має три колірні канали, а напівтонове - 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 досліджуємо.

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

```
inf_original = imfinfo(file_original);
```

```
inf_vost = imfinfo(file_vost);
```

В `inf_original` та `inf_vost` заносимо інформацію про відеозображення, використовуючи функцію `imfinfo()`. 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

$$\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (A_{\text{vost.}}(x, y, i) - A_{\text{orig.}}(x, y, i))$$
 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 двовимірні масиви, елементами яких є значення для кожного пікселя відеозображення відповідного кольору (червоного, зеленого чи синього).

Їх розмірність рівна розмірам відеозображення.

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

В змінну ΔT записуємо значення похибки для поточного кольору.

$$\Delta = \Delta + \text{coef}(\text{color_channel}) * \Delta T;$$

В Δ записуємо загальне значення похибки відтворення кольору об'єктів.

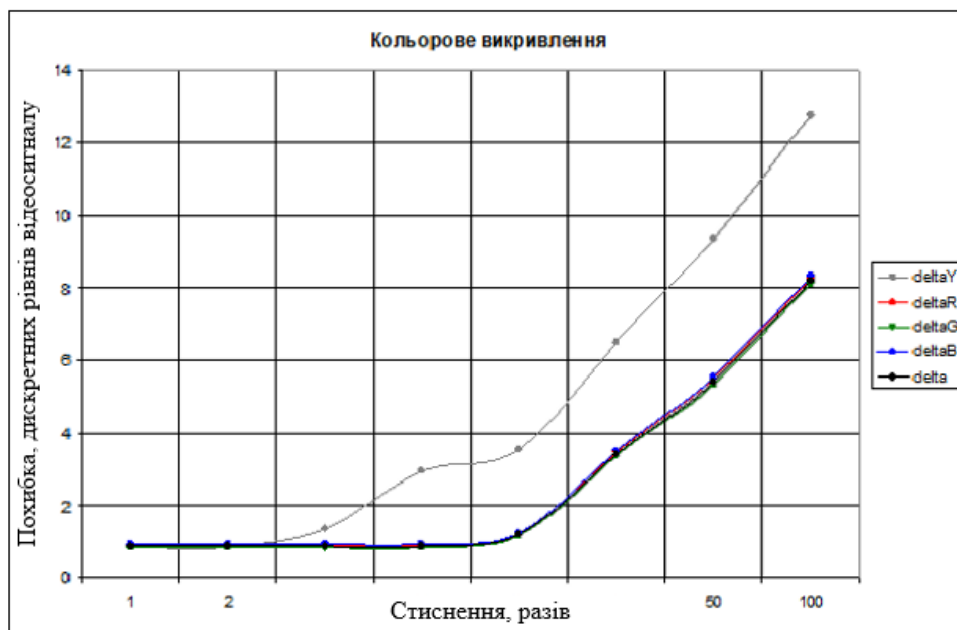
Приклад результат виконання програми:

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

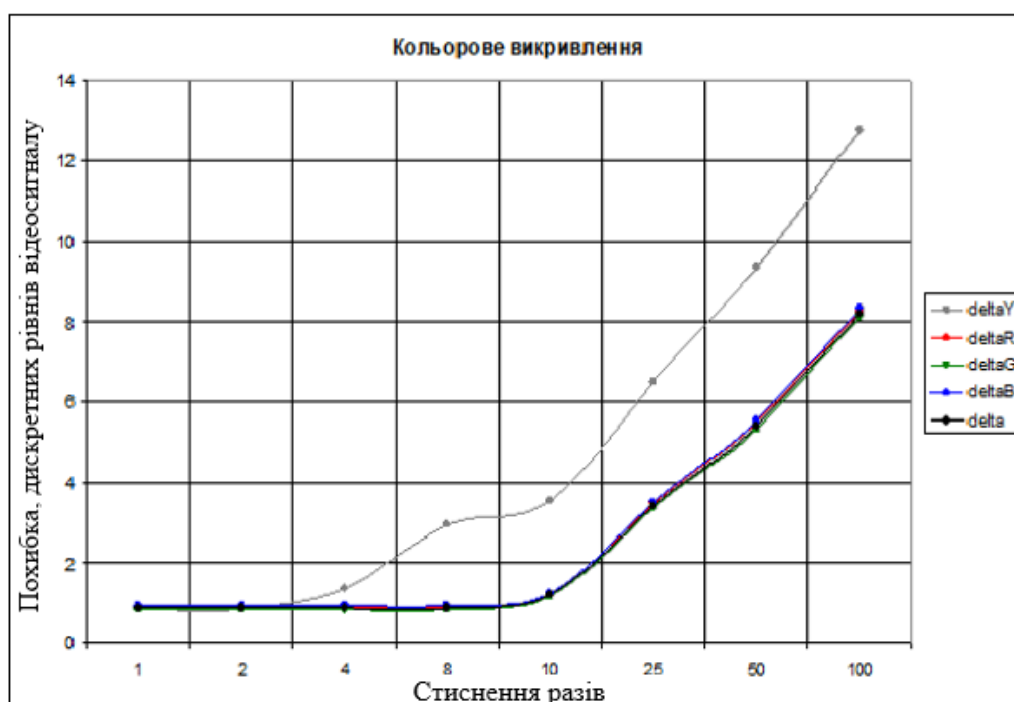
Три значення ΔR , ΔG і ΔB відповідають помилкам червоного, зеленого і синього кольорів відповідно, Δ - загальне значення помилки відновленого кольорового відеозображення, а ΔY - значення помилки відновленого напівтонового відеозображення.

За допомогою цієї програми було отримано значення похибки відтворення кольору об'єкта для п'яти відеозображень (див. рис. 3.6), стиснутих з усіма переліченими вище коефіцієнтами.

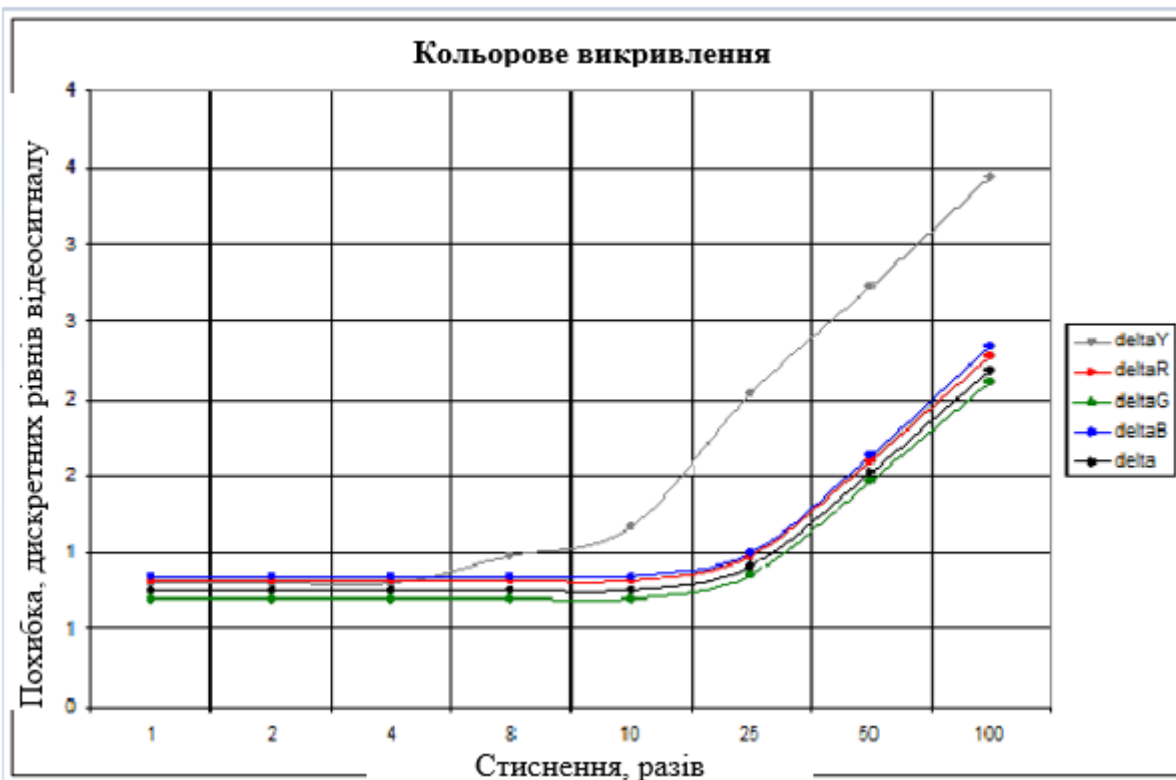
Потім було побудовано графік залежності похибки передачі кольору об'єкта від коефіцієнта стиснення (рис. 3.7).



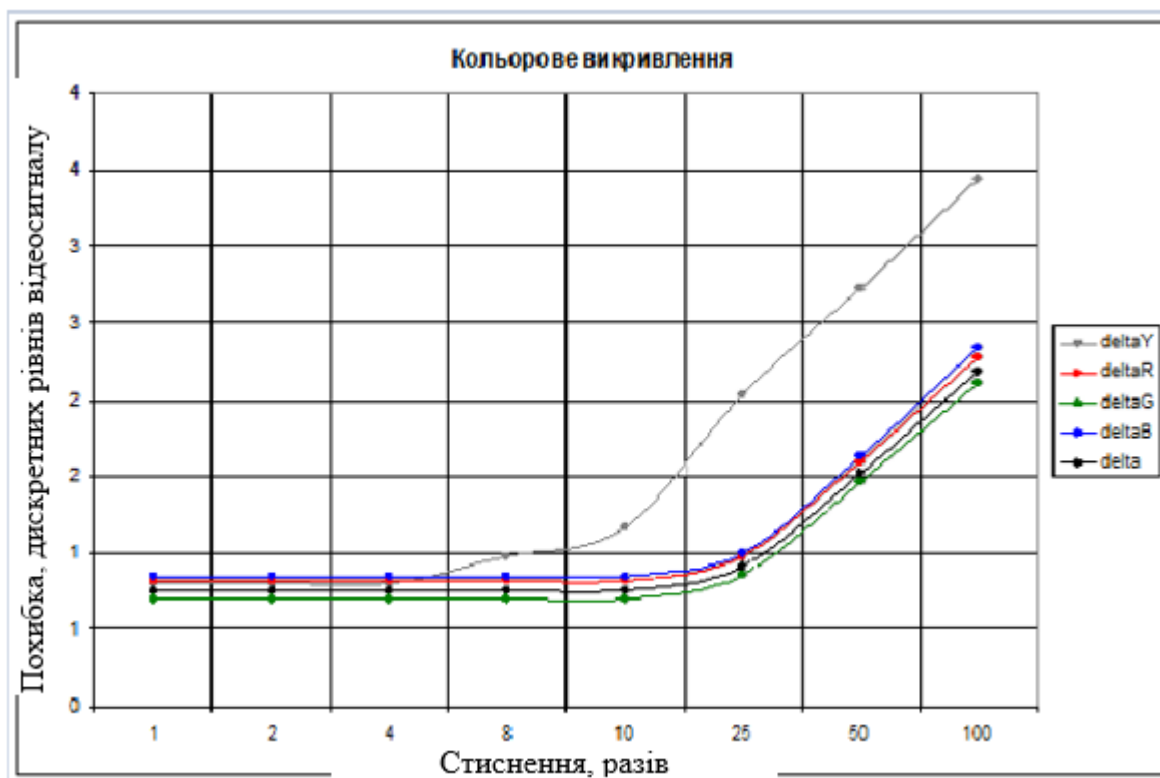
а)



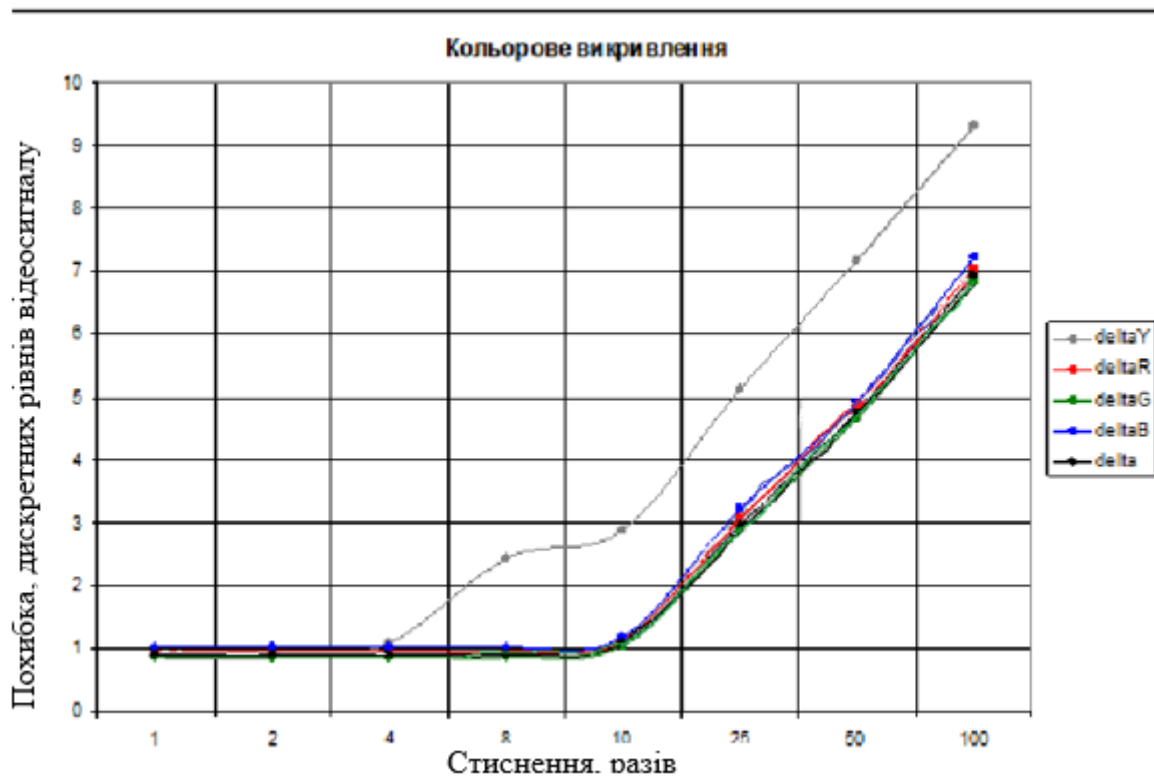
б)



В)



Г)



д)

Рис. 3.7

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 та відповідний метод стиснення є ефективними для застосування до цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ГП та параметри руху об'єктів. 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. 3.6) 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)

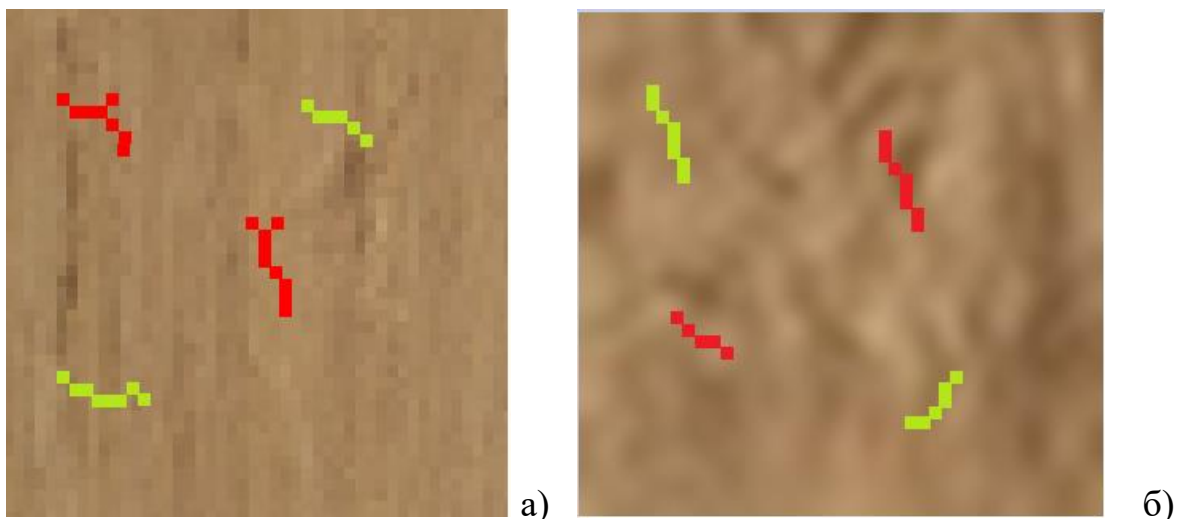


Рис. 3.8. Зміщення контурних точок при стисненні напівтонового еквівалента відеозображення №1: а) початкове відеозображення, б) відновлене відеозображення після стиснення в 100 разів

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.

$\text{deltaCoord} = \text{sqrt}(\text{summ}/L)$ – 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.

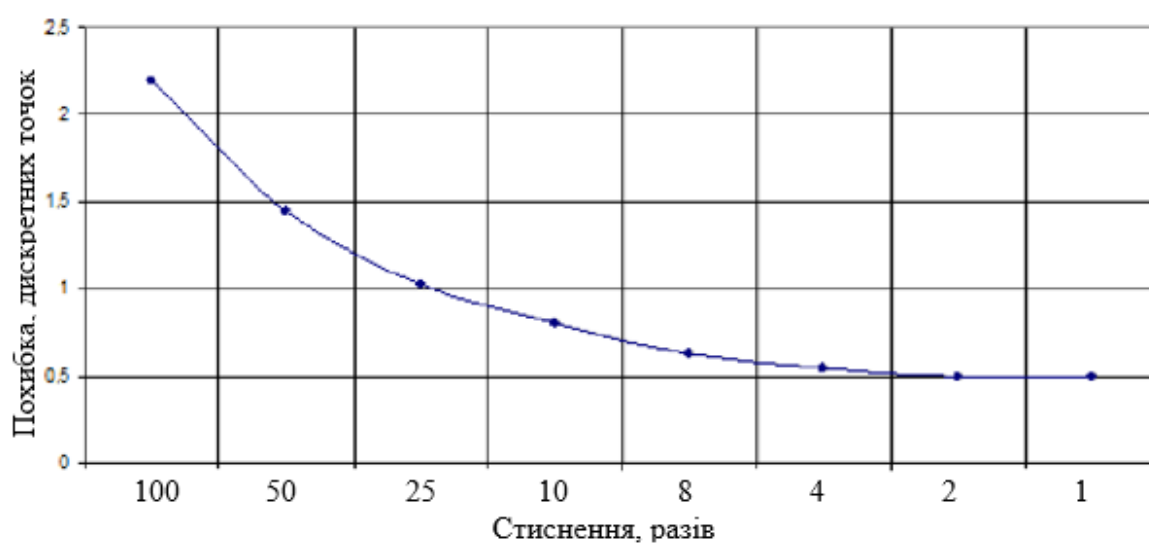
Також було оцінено похибку визначення площі об'єктів на відеозображеннях, відновлених після стиснення:

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						59
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

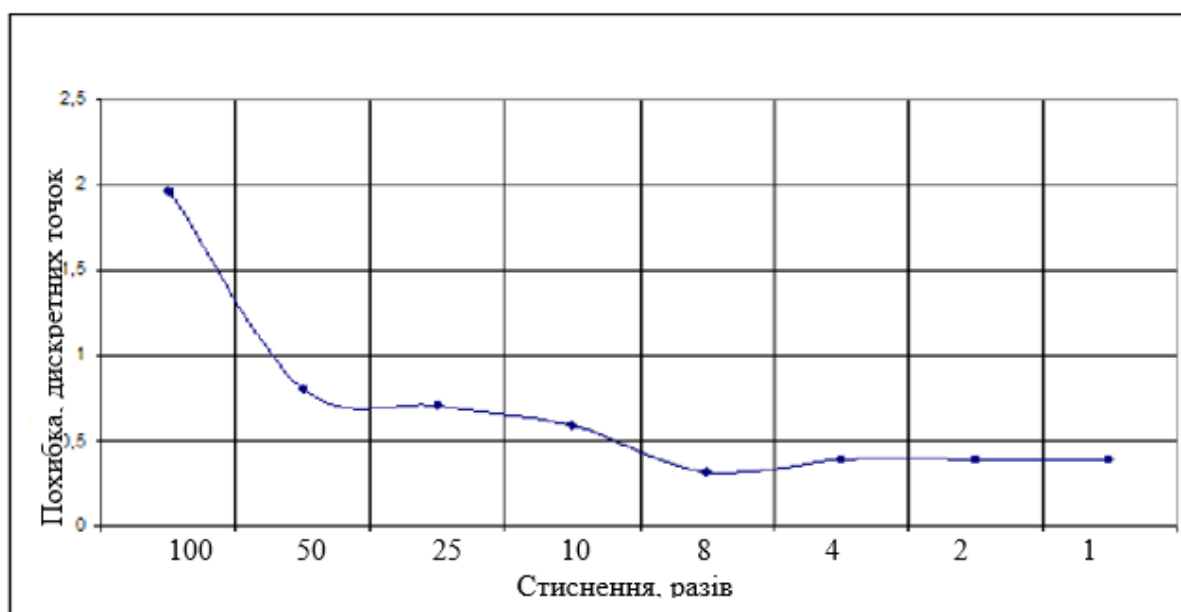
$$\Delta_S = S_{compr.} - S_{orig.},$$

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.

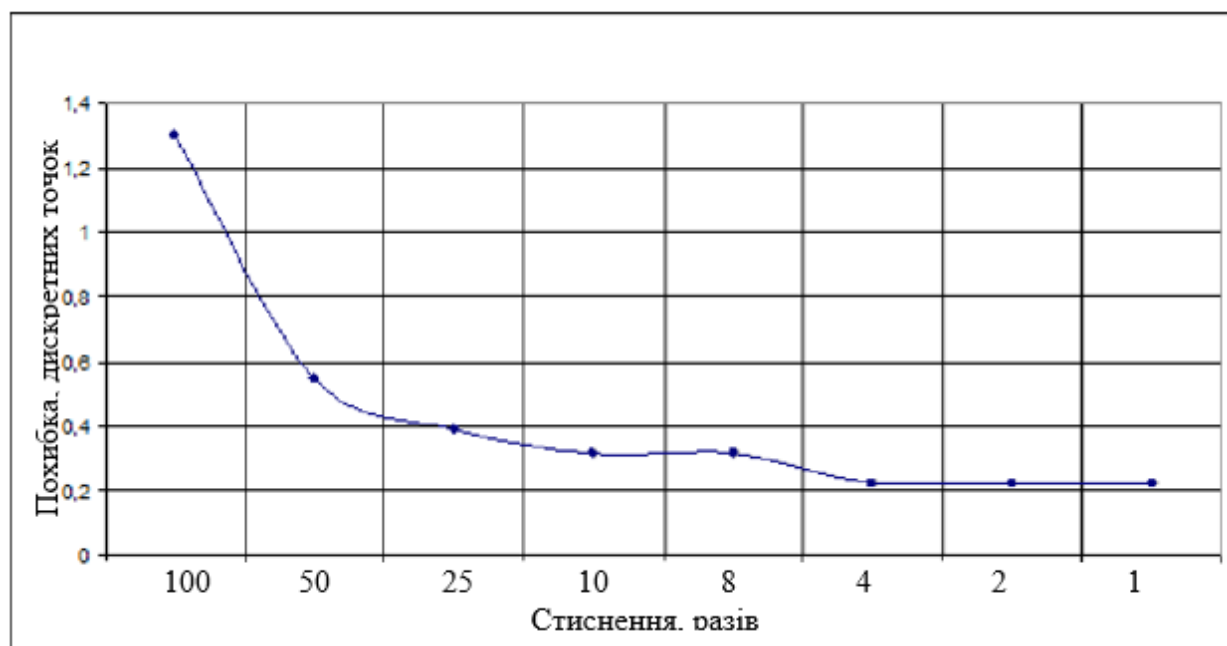
На основі отриманих даних, побудовано графіки залежності похибок визначення координат контурних точок та площі об'єктів в залежності від величини стиснення цифрового відеозображення (рис. 3.9, 3.10).



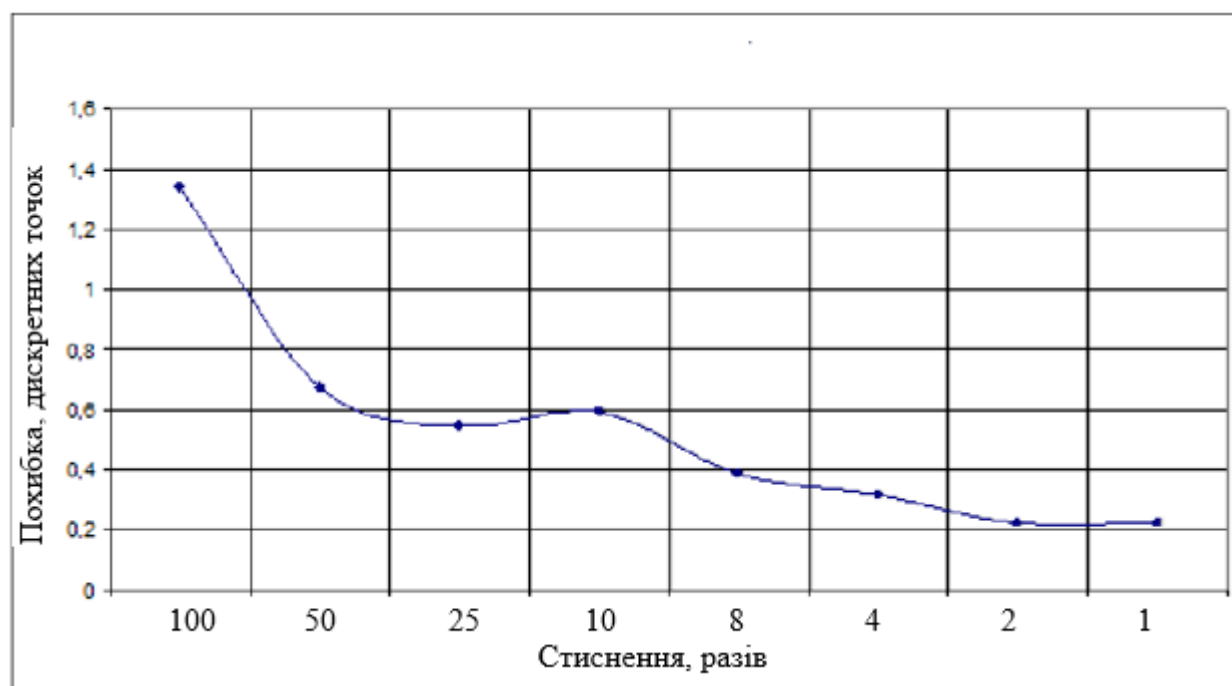
а)



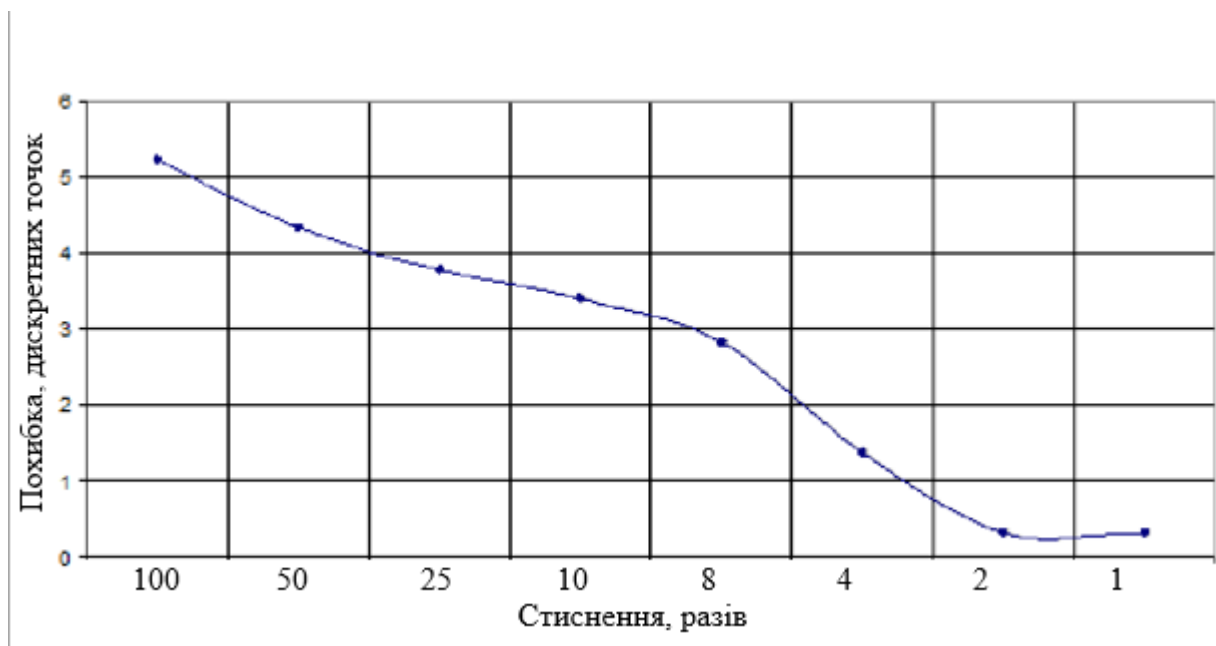
б)



в)

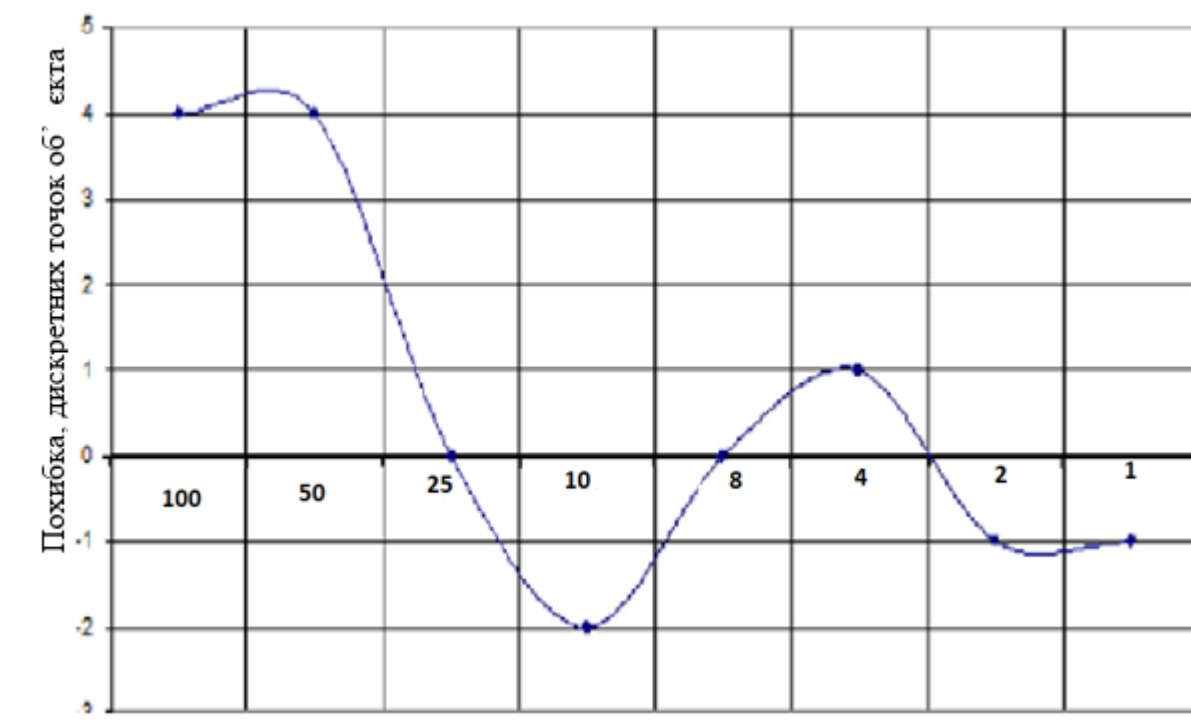


г)

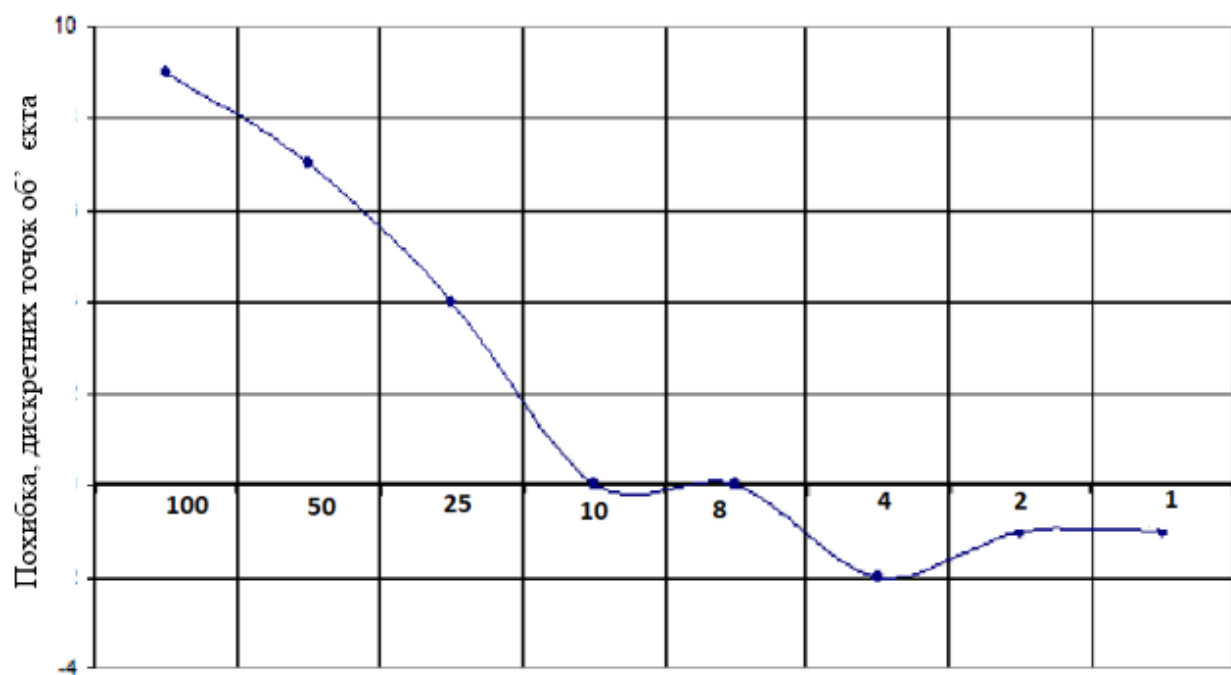


д)

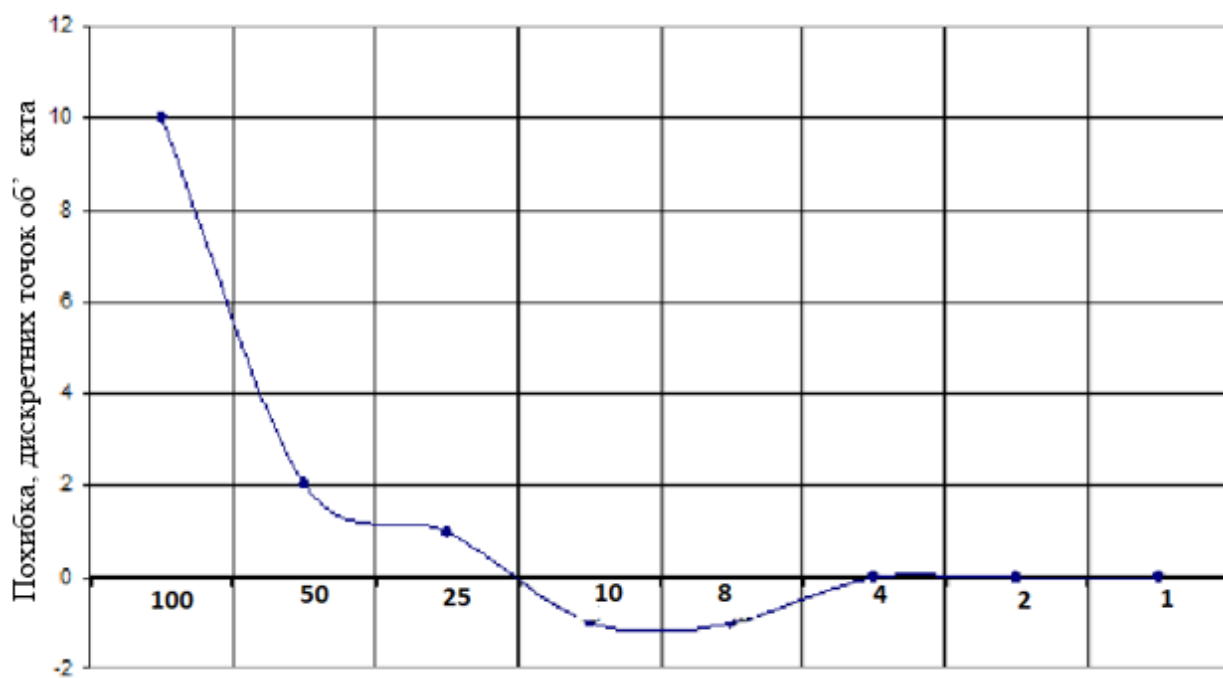
Рис. 3.9. Похибки визначення координат контурних точок об'єктів в залежності від величини стиснення: а) відеозображення №1; б) відеозображення №2; в) відеозображення №3; г) відеозображення №4; д) відеозображення №5



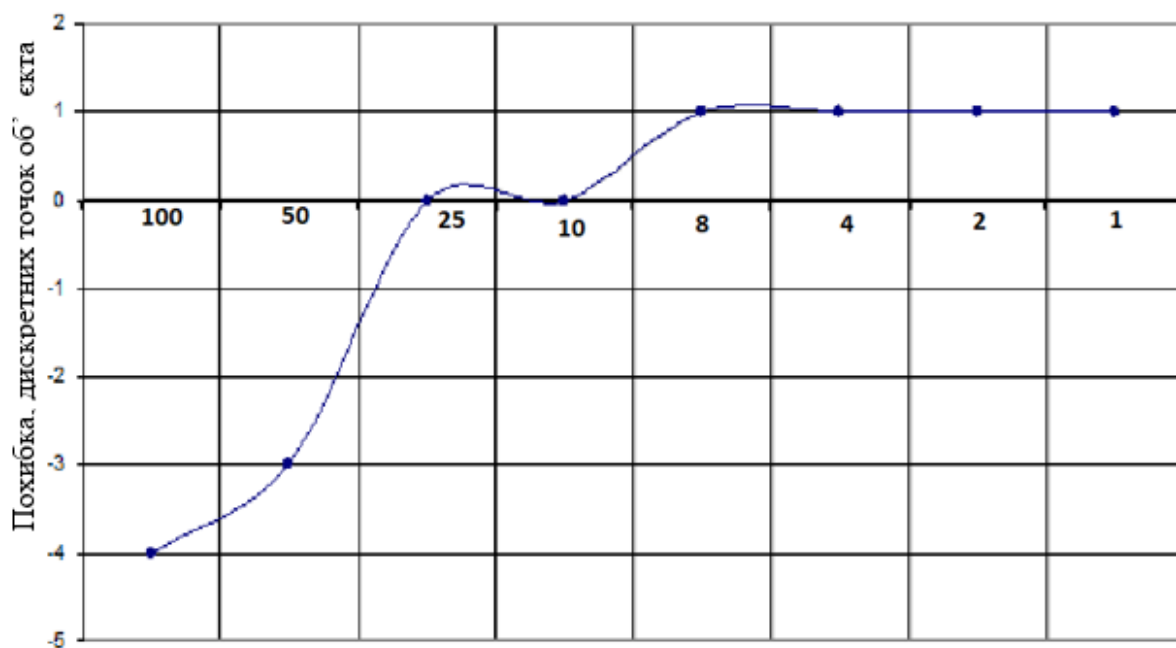
а)



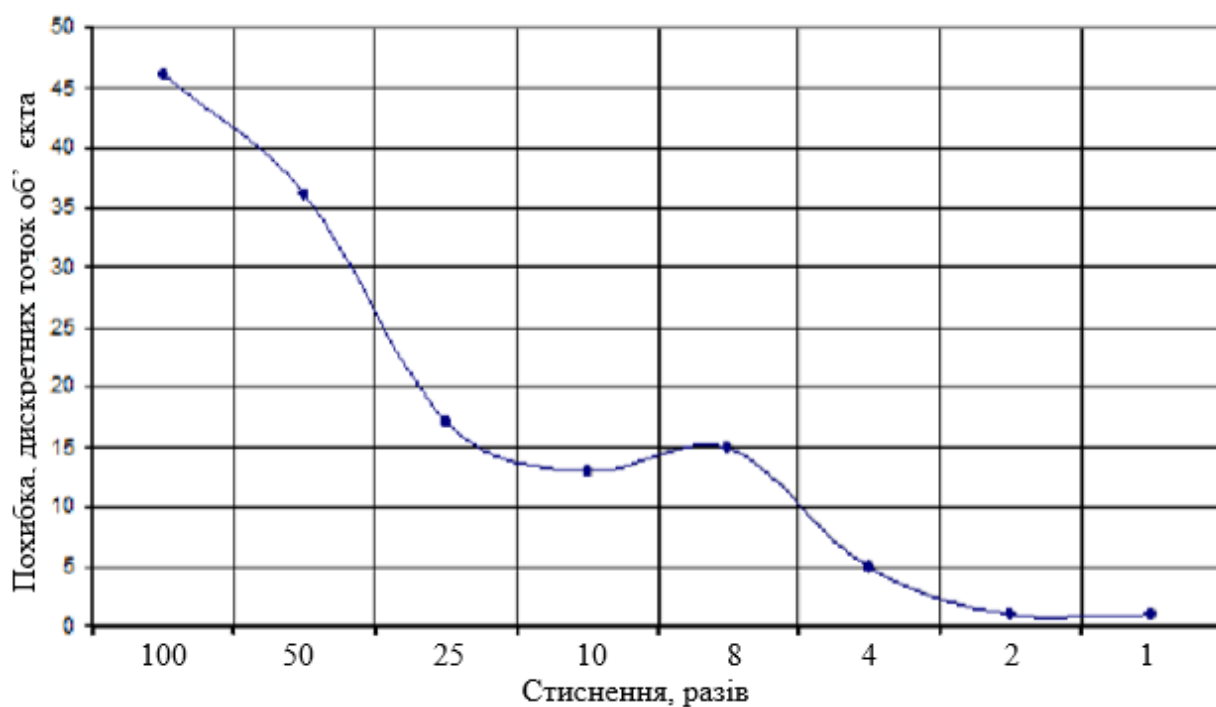
б)



в)



г)



д)

Рис. 3.10. 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 можливість стиснення на основі вейвлет-перетворень цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про ГП об'єкта. Можливі значення стиснення залежать від конкретного відеозображення, але є вищими від 25 до 50 разів. Це дозволяє отримати прийнятні значення похибок у визначенні координат точок контуру та площі об'єкта на відновленому після стиснення відеозображенні.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						65
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 6.

БЕЗПЕКА ЖИТТЕДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Вейвлет-стиснення - це інструмент обробки сигналів і зображень, який застосовується в різних галузях, включаючи телекомунікації, комп'ютерну обробку зображень і візуалізацію. При використанні вейвлет-стиснення виникають питання охорони здоров'я і безпеки, які необхідно вирішити, щоб забезпечити безпеку користувачів і операторів, які працюють з цією технологією.

Оцінка ризиків: перед використанням вейвлет-стиснення слід провести оцінку ризиків. Це передбачає виявлення можливих небезпек і визначення рівня ризику, пов'язаного з використанням цієї технології. Наприклад, можуть існувати ризики, пов'язані зі здоров'ям, такі як можливість виникнення епілептичних нападів при обробці певних типів зображень. Оцінка ризиків може допомогти визначити заходи безпеки для їх мінімізації.

Належна освіта та підготовка Оператори, які займаються вейвлет-стисненням, повинні отримати необхідну освіту та підготовку, щоб зрозуміти, як працює технологія, та ознайомитися з процедурами безпеки. Це включає навчання правильному використанню обладнання, управлінню ризиками та безпечним методам роботи.

Використання безпечного обладнання та пристроїв: при використанні вейвлет-стиснення важливо використовувати безпечне обладнання та пристрої. Це включає використання захисних кожухів, екранів, засобів індивідуального захисту та інших пристроїв, які знижують ризики для операторів і користувачів.

Контроль впливу на здоров'я: важливо підтримувати потенційний вплив вейвлет-стиснення на здоров'я операторів і користувачів. Це включає моніторинг рівнів випромінювання, регулярну перевірку і калібрування обладнання та забезпечення відповідності стандартам і правилам безпеки.

Надзвичайні ситуації та плани на випадок надзвичайних ситуацій бажано мати план дій на випадок надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, нещасні випадки та інші небезпечні події.

Він може включати тренування з евакуації персоналу, перевірку працездатності пожежної сигналізації та інших засобів протипожежного захисту, а також встановлення систем безпеки для запобігання нещасним випадкам.

Регулярне технічне обслуговування та ремонт Регулярне технічне обслуговування та ремонт обладнання є корисним для забезпечення безпечного ущільнення пульсацій. Це забезпечить належну роботу обладнання та запобіжить потенційним небезпекам.

Загальна служба охорони здоров'я та безпеки вейвлет-ущільнення полягає у забезпеченні безпеки операторів та користувачів, а також у запобіганні потенційних небезпек та несприятливих наслідків для здоров'я. Дотримання вищезазначених заходів забезпечить безпечне та ефективне використання вейвлет-ущільнення в різних сферах застосування.

Правила безпеки при роботі з електрообладнанням та комп'ютерами

Використовуйте правильне джерело живлення: переконайтеся, що електрообладнання та комп'ютери підключені до стабільного, належним чином заземленого джерела живлення. Уникайте використання довгих подовжувачів або перевантажених розеток.

Запобігайте перегріванню: переконайтеся, що комп'ютери та інше електрообладнання мають належну вентиляцію. Не перекривайте вентиляційні отвори та не розміщуйте предмети, які можуть перешкоджати нормальному теплообміну.

Уникайте впливу вологи Уникайте використання електрообладнання та комп'ютерів у вологих умовах або поблизу води. Використовуйте захисні чохли або водонепроникні засоби для пристроїв у вологих приміщеннях.

Від'єднуйте електрообладнання від мережі під час технічного обслуговування: виміряйте та від'єднайте електрообладнання від мережі перед

виконанням технічного обслуговування, ремонту або чищення. Не торкайтеся електричних компонентів, якщо ви не маєте відповідних знань і навичок.

Використовуйте стійкі, ергономічні меблі: при роботі з комп'ютером використовуйте парти і столи зі стійкою поверхнею для пристрою.

Відрегулюйте письмовий стіл так, щоб клавіатура, миша і монітор були зручними і не створювали зайвого навантаження на м'язи і суглоби.

Робіть перерви в роботі та фізичні вправи. День за комп'ютером може бути довгим і сидячим. Робіть регулярні перерви, потягніться, зробіть прості вправи і відійдіть від екрану. Це допоможе запобігти перенапруженню м'язів, очей і спини.

Захистіть свої очі Під час роботи за комп'ютером дотримуйтесь правил освітлення, а також відрегулюйте яскравість і контрастність монітора, щоб забезпечити комфортне бачення. Уникайте перенапруження очей, регулярно примружуйтеся і фокусуючи погляд на віддалених об'єктах.

Резервне копіювання даних. Регулярно створюйте резервні копії важливих даних на зовнішніх носіях або в хмарних сховищах. Це допоможе запобігти втраті інформації в разі випадкового видалення або збою в роботі комп'ютера.

Правильне використання електричних розеток і кабелів: використовуйте тільки надійні та сертифіковані електричні розетки та кабелі. Уникайте розеток, що перевантажують, і не використовуйте подовжувачі не за призначенням. Кабелі повинні бути розташовані таким чином, щоб вони не заважали руху і не викликали спотикання.

Ці правила безпеки покликані забезпечити максимально безпечну роботу з електрообладнанням і комп'ютерами та запобігти можливим негативним наслідкам для здоров'я і безпеки.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто проблему стиснення відеоінформації за допомогою вайвлет-алгоритмів. Розглянуто основні алгоритми вайвлет-стиснення, проаналізовано їх переваги та недоліки. Також описано поширені алгоритми вайвлет-стиснення, такі як JPEG2000 та MPEG-4.

Досліджено вплив рівня декомпозиції та вибору вайвлет-функції на якість стисненого відео. Показано, що використання більш складних вайвлет-функцій покращує якість стиснення, але також збільшує обчислювальну складність.

У цій статті розглянуто проблему стиснення відео та практично досліджено підхід до стиснення зображення з використанням методу вайвлет-перетворення. Результати показують, що метод вайвлет-перетворення може бути використаний для зменшення розміру результуючих відеоданих без втрати якості зображення.

Також досліджено різні алгоритми стиснення відеоданих, такі як алгоритм DCT та алгоритм Марра, і проведено порівняльний аналіз різних методів стиснення відеозображення. Результати показують, що хоча метод вайвлет-перетворення вимагає більше обчислювальних ресурсів, він дає кращі результати порівняно з іншими алгоритмами.

Експерименти на реальних відеоданих також показали, що метод вайвлет-перетворення є ефективним для стиснення відеоінформації з високою якістю та зменшенням розміру відеоданих. Отже, з результатів цього дослідження можна зробити висновок, що вайвлет-перетворення є ефективним методом стиснення відео, який можна використовувати в різних сферах, де потрібно зберігати великі обсяги відеоданих.

Таким чином, використання вайвлет-стиснення є методом зберігання і передачі великих обсягів відеоданих. Цей метод гарантує ефективність і якість відтворення відеозображення при економному використанні дискового простору. Він також дозволяє використовувати різні рівні стиснення і алгоритми для різних частин відеофайлу, незалежно від їх важливості та деталізації.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						69
Зм	Лист	№ 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.

					<i>МММТ 480.014.012- ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		70

13. Проектування відеокодеків: розробка систем стиснення зображень і відео, Ян Річардсон - 2002.
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 вискоефективного 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

					Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат	

Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, том. 13, № 5, стор. 428-441, 2003.

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)." IEEE

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

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.—

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

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Лист
						74
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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>МММТ 480.014.012- ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		75

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. Bommann 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.

					МММТ 480.014.012- ПЗ	Дру
						76
Зм	Дру	№ 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.

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.

ДОДАТКИ

Додаток А

Програмні коди:

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

```
file_original = 'st5_512x512.bmp'
file_vost = 'st5_512x512_4.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
```

Код для обчислення загального значення похибки відтворення кольору
об'єктів:

```
>>
file_original =
st5_512x512.bmp
file_vost =
st5_512x512_4.bmp
koef =
    0.3000    0.5900    0.1100
deltaR =
    0.9533
deltaG =
    0.8644
deltaB =
    1.0118
delta =
    0.9072
```

Код для обчислення похибки $\Delta_{coord.}$:

```
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)
```