

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 01.10.2020 р.
№ 3

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для самостійної роботи з навчальної дисципліни «ЦИФРОВА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ В АВТОМАТИЗОВАНИХ ТА ІН- ФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні
системи»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
(назва факультету)
кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
(назва кафедри)

Рекомендовано на засіданні ка-
федри метрології та інформацій-
но-вимірювальної техніки
(назва кафедри)
29 серпня 2020р.,
протокол № 5

Розробники: д.т.н., проф., завідувач кафедри метрології та інформаційно-
вимірювальної техніки ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій, старший викладач метро-
логії та інформаційно-вимірювальної техніки ЛУГОВИХ Оксана
(науковий ступінь, посада, ПРІЗВИЩЕ, власне ім'я)

Житомир
2020

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 2

Методичні рекомендації для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Цифрова обробка зображень в автоматизованих та інформаційних системах» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи» / Розробники Подчашинський Ю.О., Лугових О.О. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 22 с.

Розробники: Подчашинський Ю.О., Лугових О.О.

Рецензенти:

к.т.н., доцент, доцент кафедри АтаКІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
А.А. Гуменюк;

к.т.н., доцент, доцент кафедри АтаКІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Ю.О. Шавурський

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 3

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	4
2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	5
3. ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	7
4. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	8
5. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	14
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	17
ДОДАТОК. ПРИКЛАД ПРОГРАМИ ДЛЯ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ЗА JPEG-АЛГОРИТМОМ	22

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 4

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета та завдання навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна відносить до циклу дисциплін самостійного вибору навчального закладу і забезпечує підготовку студентів у галузі знань 0502 «Автоматика та управління» за напрямом підготовки 6.050201 «Системна інженерія», спеціальність 8.05020101 «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика».

Мета викладання дисципліни полягає в опанування студентами методів цифрової обробки зображень, що містять вимірювальну інформацію, в комп'ютеризованих системах управління і автоматики.

Дана дисципліна базується на використанні знань та положень вищої математики, спецрозділів математики (теорія ймовірностей і випадкові процеси, дискретна математика), програмування (сучасні пакети прикладних програм), теорії систем і системного аналізу, мікропроцесорних систем управління, основ метрології, теорії інформації, цифрової обробки сигналів. Знання, набуті студентами при вивченні даної дисципліни, використовуються під час виконання магістерської атестаційної роботи.

Завдання дисципліни полягає у набутті студентами знань, умінь і здатностей (компетенцій) щодо побудови, експлуатації та розробки комп'ютеризованих систем управління з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

1. Задачі, які вирішуються за допомогою цифрових зображень в комп'ютеризованих системах управління.
2. Склад та структура комп'ютеризованої системи управління з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління.
3. Основні принципи побудови комп'ютеризованої системи управління з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління.
4. технічні засоби формування та алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління.
5. Методи цифрової обробки зображень з вимірювальною інформацією в комп'ютеризованих системах управління.
6. Основні можливості програмних пакетів з цифрової обробки зображень.

вміти:

7. Формувати цілі проектування комп'ютеризованої системи управління з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління;
8. Розробляти структуру та принципи побудови комп'ютеризованої системи управління з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 5

9. Здійснювати вибір технічних засобів комп'ютеризованої системи управління з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління;

10. Розробляти методи цифрової обробки зображень в комп'ютеризованих системах управління.

11. Оцінювати похибки вимірювальної інформації про об'єкти управління на цифрових зображеннях.

12. Розробляти алгоритми та програми цифрової обробки зображень в комп'ютеризованих системах управління.

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Теоретичні основи, структура та принципи комп'ютеризованих систем управління та автоматики з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління.

Тема 1. Вступ. Роль цифрової обробки зображень у передачі вимірювальної інформації про об'єкти управління в сучасних комп'ютеризованих системах управління.

Тема 2. Структура та принципи побудови комп'ютеризованих систем управління та автоматики з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління

Тема 3. Технічні засоби формування та алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління.

Тема 4. Методи оцінки якості цифрових зображень та точності передачі вимірювальної інформації про об'єкти управління.

Змістовний модуль 2. Методи цифрової обробки зображень з вимірювальною інформацією в комп'ютеризованих системах управління.

Тема 5. Основи алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління в сучасних алгоритмічних та програмних засобах.

Тема 6. Методи стиснення вимірювальної інформації на цифрових зображеннях об'єктів управління.

Тема 7. Методи фільтрації зображень та відновлення вимірювальної інформації в комп'ютеризованих системах управління.

Тема 8. Методи сегментації зображень та розпізнавання об'єктів управління на відео зображеннях в комп'ютеризованих системах управління.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 6

Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Роль цифрової обробки зображень у передачі вимірювальної інформації про об'єкти управління в сучасних комп'ютеризованих системах управління.	2
2	Структура та принципи побудови комп'ютеризованих систем управління та автоматики з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління	2
3	Технічні засоби формування та алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління.	2
4	Методи оцінки якості цифрових зображень та точності передачі вимірювальної інформації про об'єкти управління.	2
5	Основи алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління в сучасних алгоритмічних та програмних засобах.	2
6	Методи стиснення вимірювальної інформації на цифрових зображеннях об'єктів управління.	2
7	Методи фільтрації зображень та відновлення вимірювальної інформації в комп'ютеризованих системах управління.	2
8	Методи сегментації зображень та розпізнавання об'єктів управління на відео зображеннях в комп'ютеризованих системах управління.	2
	Разом	16

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Бінаризація зображень	4
2	Функції, що використовуються для аналізу зображень	4
3	Морфологічні операції над бінарними зображеннями	4
4	Дослідження jpeg-алгоритму стиснення цифрових відеозображень в системах технічного зору	4
5	Дослідження методів фільтрації шумів на цифрових відеозображеннях в інтелектуальних системах	4
6	Дослідження методів виділення контурів об'єктів на цифрових відеозображеннях	4

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 7

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
7	Просторові перетворення зображень	4
8	Пошук об'єктів на мульти-спектральних зображеннях	4
	Разом	32

3. ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

№ з/п	Назва теми
1	Вступ. Роль цифрової обробки зображень у передачі вимірювальної інформації про об'єкти управління в сучасних комп'ютеризованих системах управління.
2	Структура та принципи побудови комп'ютеризованих систем управління та автоматики з вимірювальним каналом, що використовує цифрові зображення об'єктів управління
3	Технічні засоби формування та алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління.
4	Методи оцінки якості цифрових зображень та точності передачі вимірювальної інформації про об'єкти управління.
5	Основи алгоритмічної обробки цифрових зображень об'єктів управління в сучасних алгоритмічних та програмних засобах.
6	Методи стиснення вимірювальної інформації на цифрових зображеннях об'єктів управління.
7	Методи фільтрації зображень та відновлення вимірювальної інформації в комп'ютеризованих системах управління.
8	Методи сегментації зображень та розпізнавання об'єктів управління на відео зображеннях в комп'ютеризованих системах управління.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 8

4. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Контроль і вимірювання параметрів виробничого процесу або наукового експерименту за допомогою СТЗ вимагає отримання послідовності відеозображень з високою частотою кадрів. Це приводить до необхідності реєстрації і накопичення в реальному масштабі часу дуже великого об'єму цифрової відеоінформації, що неможливо навіть для сучасних апаратних засобів. Тому актуальною є задача зменшення об'єму цифрової відеоінформації про об'єкт вимірювань.

Існують такі методи зменшення об'єму цифрової відеоінформації:

- зменшення розміру відеозображень;
- зниження частоти кадрів для послідовності відеозображень;
- стиснення наявного об'єму відеоінформації методами, відомими із теорії інформації і теорії цифрової обробки відеозображень.

Перші два методи в СТЗ неприйнятні в більшості випадків, так як суттєво знижують точність вимірювань. Тому розглянемо третій метод, тобто стиснення відеоінформації.

Можливі два варіанти стиснення відеозображень:

- стиснення відеозображення як растрового графічного зображення і його зберігання в стиснутому форматі;
- пошук і виділення потрібних об'єктів на відеозображенні, визначення характеристик цих об'єктів (в тому числі – геометричних характеристик) і зберігання тільки цієї інформації.

Другий варіант потребує виконання значного об'єму обчислень і не може бути застосований для стиснення в реальному масштабі часу при реєстрації параметрів виробничого процесу або наукового експерименту. Він використовується у випадках, коли відеозображення вже накопичені і потрібно зберігати тільки результати обробки.

Перший варіант може бути реалізований у вигляді алгоритму на рівні апаратних засобів (спеціалізованої мікросхеми) для стиснення в реальному масштабі часу або на рівні програмних засобів універсальної ЕОМ для стиснення вже накопичених відеозображень. Він використовується для стиснення відеозображень при введенні їх в комп'ютер і при зберігання цих відеозображень. Виходячи із особливостей великої кількості конкретних задач по контролю і вимірюванню параметрів виробничого процесу або наукового експерименту, можна зробити висновок про те, що далі доцільно розглядати стиснення відеозображень як растрової графіки.

Універсальні методи стиснення інформації, що базуються на виключенні інформаційної надлишковості, не дозволяють досягти значного стиснення відеозображень, представлених у вигляді растрової графічної інформації. Максимальний коефіцієнт стиснення, як правило, не перевищує 1:2, а в деяких випадках можна отримати навіть збільшення розміру стиснутого відеозобра-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 9

ження. Ефективне стиснення відеозображень можливе тільки на основі методів із втратами деякої частини інформації. Існують різні методи стиснення відеозображень із втратами частини інформації. Це, наприклад, методи на основі кодування із перетворенням, wavelet- стиснення, стиснення на основі фракталів, тощо. На теперішній час для стиснення відеозображень в СТЗ найбільш доцільно використовувати JPEG-алгоритм стиснення, який базується на дискретному косинусному перетворенні (ДКП) цифрового зображення. Це обумовлено такими факторами:

- даний алгоритм фактично є стандартом для стиснення нерухомих цифрових зображень і забезпечує стиснення в декілька десятків разів без суттєвих викривлень зображення;

- JPEG-алгоритм є основною складовою частиною багатьох методів стиснення послідовностей рухомих зображень, наприклад, методу MJPEG;

- JPEG-алгоритм, реалізований в апаратних засобах формування відеозображень і їх введення в комп'ютер, забезпечує стиснення послідовностей відеозображень в реальному масштабі часу, що важливо при дослідженні розвитку механічної деформації в часі;

- стиснення відеозображень за JPEG-алгоритмом може виконуватися безпосередньо при формуванні відеозображень в цифровому фотоапараті і цифровій відеокамері або при введенні відеозображень в комп'ютер.

В результаті даний алгоритм забезпечує: зменшення часу введення відеозображень в комп'ютер; можливість дослідження динаміки різних процесів в реальному масштабі часу; раціональну організацію зберігання цифрових відеозображень.

При стисненні цифрових відеозображень за JPEG-алгоритмом виникають втрати деякої частини інформації про яскравість і колір дискретних точок цих зображень. В основному це інформація про амплітуду верхніх частот в спектрі зображення. Можливість видалення цієї частини інформації впливає із особливостей сприйняття відеозображень людиною. В результаті стиснення зображення до певних меж не має суттєвого впливу на візуальну якість зображення. Ця якість може бути оцінена на основі об'єктивних або суб'єктивних критеріїв, наприклад методом експертних оцінок.

Основою об'єктивних критеріїв оцінки якості відновлених після стиснення зображень є оцінювання розбіжності яскравості і кольору всієї множини дискретних точок початкового і відновленого після стиснення відеозображення. При контролі і вимірюванні параметрів виробничого процесу або наукового експерименту також необхідно оцінити розбіжність між початковим і відновленим після стиснення зображеннями в області контурів об'єктів. Важливість такої оцінки пояснюється тим, що визначення координат точок контурів об'єктів виконується на основі обробки перепадів яскравості на зображенні, а ці перепади в значній мірі визначаються верхніми частотами в спектрі зображення, які частково видалюються при стисненні за JPEG-алгоритмом.

Розглянемо JPEG-алгоритм стиснення відеозображень (рис. 2.1) з точки зору можливості виникнення викривлень і похибок на відеозображенні, відновленому після стиснення.

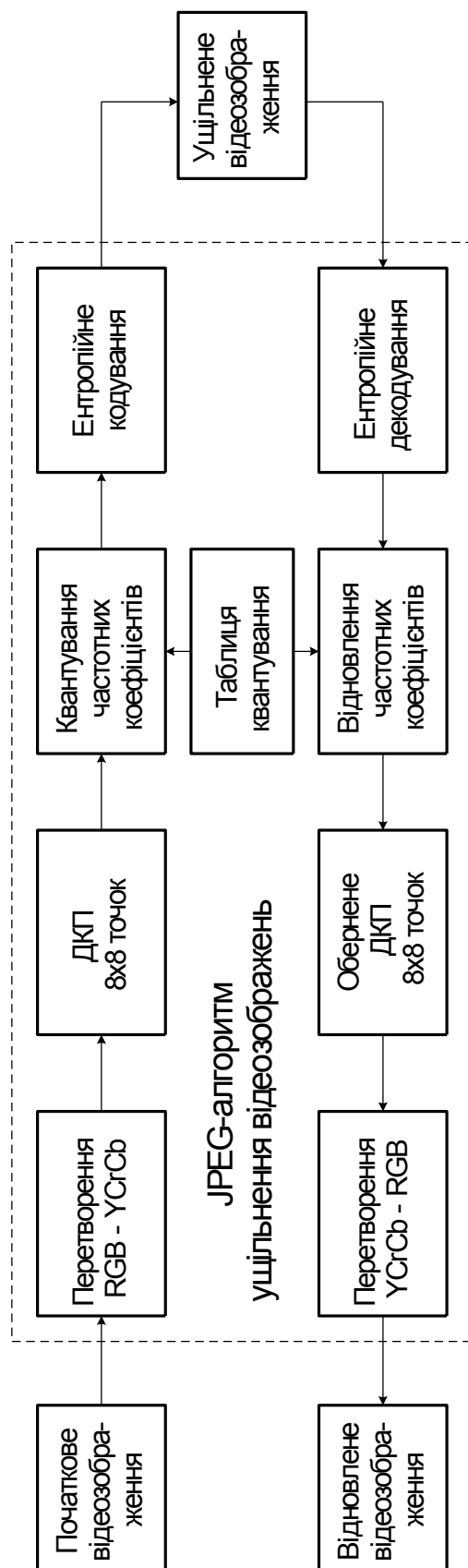


Рис. 2.1. Схема JPEG-алгоритму стиснення цифрових відеозображень

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 11

Стиснення цифрових відеозображень за JPEG-алгоритмом включає чотири етапи.

Перший етап – перетворення початкового зображення з метою розподілу інформації про яскравість і колір точок зображення, субдискретизація інформації про колір. Розподіл інформації про яскравість і колір точок зображення виконується шляхом перетворення кольорової схеми RGB в схему YCrCb:

$$\begin{cases} Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B, \\ Cb = -0,169R - 0,331G + 0,500B + 128 \\ Cr = 0,500R - 0,419G - 0,081B + 128 \end{cases}$$

де R , G , B – червона, зелена і синя складові частини інформації про дискретну точку зображення,

Cr , Cb – інформація про колір точки, відокремлена від інформації про яскравість (кольорорізницева інформація).

Зворотне перетворення виконується відповідно до формул:

$$\begin{cases} R = Y + 1,402(Cr - 128), \\ G = Y - 0,344(Cb - 128) - 0,714(Cr - 128), \\ B = Y + 1,772(Cb - 128). \end{cases}$$

Субдискретизація інформації про колір полягає в збереженні тільки кожного другого або четвертого дискретного значення Cb і Cr .

У випадку застосування JPEG-алгоритму для розв'язання задач, пов'язаних із геометричними вимірюваннями на відеозображеннях, слід відзначити:

1. Існує взаємно однозначна обернена операція відновлення цифрових даних.
2. В багатьох пристроях цифрові дані початкового зображення вже розділені на дані про яскравість і колір. Наприклад, у більшості відеокамер ці дані формуються окремо, їх перетворення в цифрову форму при введенні в комп'ютер також виконується окремо.
3. Цифрові фотоапарати і цифрові відеокамери середнього і вищого рівня мають спеціальний режим формування напівтонових зображень, що містять тільки інформацію про яскравість об'єктів. Цей режим доцільно використовувати при отриманні відеозображень в СТЗ.
4. Для геометричних вимірювань використовуються, як правило, напівтонові зображення.

В результаті можна вважати, що перший етап JPEG-алгоритму не приводить до виникнення суттєвих похибок геометричних вимірювань, крім похибки виконання обчислень.

Другий етап JPEG-алгоритму – розподіл зображення на блоки (матриці) розміром $N \times N$ дискретних точок (звичайно, $N = 8$) і виконання ДКП для кожного

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 12

блоку. Із матриці розміром $N \times N$ ($N = 8$), що містить інформацію про яскравість дискретних точок відеозображення $Y(x,y)$, утворюється матриця розміром $N \times N$, що містить частотні коефіцієнти ДКП $F(u,v)$, тобто спектр відеозображення. В результаті інформація про яскравість і колір (кожна окремо) переводиться в частотну область.

Обчислення частотних коефіцієнтів (пряме ДКП) виконується за формулою:

$$F(u,v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot C(u) \cdot C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} Y(x,y) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right),$$

де $u = 0, 1, \dots, N-1, v = 0, 1, \dots, N-1$,

$x = 0, 1, \dots, N-1, y = 0, 1, \dots, N-1$,

$C(u), C(v)$ – постійні коефіцієнти,

$$C(u) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & u = 0, \\ 1, & u > 0, \end{cases} \quad C(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & v = 0, \\ 1, & v > 0. \end{cases}$$

Відновлення інформації про яскравість точок (обернене ДКП) виконується за формулою:

$$Y(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u) \cdot C(v) \cdot F(u,v) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right).$$

Наведені формули фактично є визначенням прямого і оберненого ДКП, але їх застосування при обробці зображень не вигідно, так як потрібна велика кількість обчислювальних операцій. Існує швидкий алгоритм обчислення прямого і оберненого ДКП, який реалізується через стандартні операції множення матриць:

$$\begin{aligned} F &= C_1 \cdot Y \cdot C_1^T, \\ Y &= C_1^T \cdot F \cdot C_1, \end{aligned}$$

де C_1 – матриця постійних коефіцієнтів ДКП,

$$C_1(u,v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & v = 0, \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2u+1)v\pi}{2N}\right), & v > 0, \end{cases}$$

C_1^T – транспонована матриця C_1 .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 13

Так як ДКП має обернене перетворення (обернене ДКП), то другий етап JPEG-алгоритму не приводить до втрат відеоінформації і виникнення похибок, крім похибок виконання обчислень.

Третій етап JPEG-алгоритму – квантування частотних коефіцієнтів, отриманих в результаті ДКП:

$$F_q(u, v) = \text{int} \left\{ \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} + 0,5 \right\},$$

де $\text{int} \{ \cdot \}$ – операція виділення цілої частини числа,

$Q(u, v)$ – вагові коефіцієнти в таблиці квантування частотних коефіцієнтів.

Відновлення частотних коефіцієнтів виконується за формулою:

$$F'(u, v) = F_q(u, v) \cdot Q(u, v).$$

В процесі квантування верхні частоти можуть бути вилучені із спектра цифрового зображення. Це залежить від співвідношення значень елементів таблиці квантування і значень частотних коефіцієнтів. Вилучення верхніх частот приводить до викривлень і похибок на відеозображенні, відновленому після стиснення. Інші частотні коефіцієнти, що залишаються в спектрі, в результаті квантування можуть дещо змінитися і це теж є джерело викривлень і похибок.

Четвертий етап JPEG-алгоритму – кодування частотних коефіцієнтів після квантування за методом Хаффмена або арифметичне кодування для вилучення інформаційної надлишковості. Ці методи кодування не приводять до втрат інформації і виникнення похибок.

Для відновлення стиснутого зображення всі вказані етапи виконуються в зворотному порядку.

Початкове зображення, що надходить в JPEG-алгоритм для стиснення, має певний рівень шумів і викривлень, що виникли в процесі формування цього зображення. Ці шуми і викривлення перетворюються в трансформовану похибку на виході JPEG-алгоритму.

JPEG-алгоритм містить багато обчислювальних операцій над цифровими даними. Обмеження розрядності цифрових даних приводить до виникнення похибки виконання обчислень.

Значення похибки виконання обчислень залежить від варіанту обчислень ДКП, який реалізовано в засобах стиснення зображень, і від розрядності цифрових даних в цих засобах. Безпосереднє визначення цієї похибки є досить складним через велику кількість обчислювальних операцій в JPEG-алгоритмі. Крім того, для стандартних апаратних засобів, що використовуються в СТЗ, потрібна початкова інформація не завжди доступна. Більш доцільним слід вважати підхід, при якому похибка виконання обчислень відноситься до інструме-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 14

нтальних похибок і може бути оцінена за результатами експериментальних досліджень стиснення деяких тестових зображень.

Функції пакету прикладних програм Image Processing Toolbox, які необхідно використовувати в лабораторній роботі:

dct2 – обчислює ДКП цифрового відеозображення;

dctmtx – формує матрицю коефіцієнтів, що використовуються при обчисленні ДКП;

blkproc – обчислення заданої функції для блоку точок цифрового відеозображення;

cputime – повертає час роботи центрального процесора в секундах;

zeros – формує матрицю заданого розміру, всі елементи якої дорівнюють нулю;

inline – перетворює строку символів в команду системи MatLab;

prod – обчислює добуток елементів вказаного масиву чисел;

nnz – обчислює кількість ненульових елементів в масиві чисел;

size – обчислює розмір матриці по кожній розмірності;

fprintf – виводить в командне вікно системи MatLab або в файл текстовий рядок.

5. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Виконання самостійної роботи, відповідно до завдання у табл. 1.

Тема: “ Дослідження точнісних та часових характеристик алгоритмів стиснення цифрових відеозображень в комп’ютеризованих системах управління”.

Мета: дослідити можливість стиснення цифрових відеозображень в процесі реєстрації візуальної інформації на прикладі JPEG-алгоритму. Визначити вплив параметрів алгоритму стиснення на якість і інші характеристики отриманих цифрових відеозображень. Дослідити стандартні функції пакету Image Processing Toolbox по стисненню цифрових відеозображень.

Підготовка до самостійної роботи

Розглянути основні методи перетворення цифрових відеозображень, які необхідні при їх реєстрації і зберіганні в СТЗ (розділ 2.1 даного методичного посібника). Дослідити послідовність операцій, що виконуються в JPEG-алгоритмі стиснення відеозображень. Вивчити основні можливості системи MatLab по перетворенню і стисненню цифрових відеозображень.

Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального завдання (табл. 2.1) і розробити програму для виконання цього завдання. При складанні програми рекомендується використовувати додаток 2 даного методичного посібника.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 15

Виконання самостійної роботи

1. Завантажити в оперативну пам'ять початкове кольорове відеозображення, задане викладачем, і перетворити його в напівтонове відеозображення. Розмір відеозображення повинен відповідати даним з табл. 1.

2. Стиснути початкове напівтонове відеозображення за JPEG-алгоритмом. Визначити коефіцієнт стиснення і час виконання операції стиснення. Розмір блока точок при обчисленні ДКП і поріг для виключення з спектру коефіцієнтів ДКП повинні відповідати даним з табл. 1. Метод обчислення ДКП – обчислення подвійної суми відповідно до визначення ДКП.

Таблиця 1

Варіант	Розмір відеозображення, KxK дискретних точок	Розмір блоку ДКП, NxN дискретних точок (2 значення)	Поріг для виключення з спектру коефіцієнтів ДКП, дискретних рівнів (3 значення)	Кількість ненульових коефіцієнтів спектру (3 значення)
1	128x128	8x8, 64x64	10, 80, 170	5, 30, 60
2	256x256	8x8, 128x128	20, 90, 180	10, 40, 50
3	512x512	16x16, 64x64	30, 100, 190	15, 35, 55
4	128x128	16x16, 128x128	40, 110, 200	20, 45, 60
5	256x256	8x8, 64x64	5, 50, 200	25, 50, 60
6	512x512	8x8, 128x128	15, 70, 150	5, 30, 60
7	128x128	16x16, 64x64	10, 80, 170	10, 40, 50
8	256x256	16x16, 128x128	20, 90, 180	15, 35, 55
9	512x512	8x8, 64x64	30, 100, 190	20, 45, 60
10	128x128	8x8, 128x128	40, 110, 200	25, 50, 60
11	256x256	16x16, 64x64	5, 50, 200	5, 30, 60
12	512x512	16x16, 128x128	15, 70, 150	10, 40, 50
13	128x128	8x8, 64x64	10, 80, 170	15, 35, 55
14	256x256	8x8, 128x128	20, 90, 180	20, 45, 60
15	512x512	16x16, 64x64	30, 100, 190	25, 50, 60
16	128x128	16x16, 128x128	40, 110, 200	5, 30, 60
17	256x256	8x8, 64x64	5, 50, 200	10, 40, 50
18	512x512	8x8, 128x128	15, 70, 150	15, 35, 55
19	128x128	16x16, 64x64	10, 80, 170	20, 45, 60
20	256x256	16x16, 128x128	20, 90, 180	25, 50, 60
21	512x512	8x8, 64x64	30, 100, 190	5, 30, 60
22	128x128	8x8, 128x128	40, 110, 200	10, 40, 50
23	256x256	16x16, 64x64	5, 50, 200	15, 35, 55
24	512x512	16x16, 128x128	15, 70, 150	20, 45, 60

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 16

25	128x128	8x8, 64x64	10, 80, 170	25, 50, 60
26	256x256	8x8, 128x128	20, 90, 180	5, 30, 60
27	512x512	16x16, 64x64	30, 100, 190	10, 40, 50
28	128x128	16x16, 128x128	40, 110, 200	15, 35, 55
29	256x256	8x8, 64x64	5, 50, 200	20, 45, 60
30	512x512	32x32, 128x128	15, 70, 150	25, 50, 60

3. Повторити п. 2 для другого значення розміру блока точок і для методу обчислення ДКП на основі матричних операцій. Заповнити таблицю, що відображає залежність часу обчислення ДКП від методу обчислення і розміру блока точок.

4. Повторити п. 2 для всіх трьох значень порогу для виключення з спектру коефіцієнтів ДКП, використовуючи обидва методи обчислення ДКП. Розмір блоку відеозображення при обчисленні ДКП повинен дорівнювати другому значенню із табл. 2.1. Заповнити таблицю і побудувати графіки, що відображають залежність похибки, що виникає на відновленому відеозображенні, від значень порогу.

5. Повторити п. 2 для всіх трьох значень кількості ненульових коефіцієнтів спектру, використовуючи обидва методи обчислення ДКП. Розмір блоку відеозображення при обчисленні ДКП повинен дорівнювати другому значенню із табл. 2.1. Заповнити таблицю і побудувати графіки, що відображають залежність похибки, що виникає на відновленому відеозображенні, від кількості ненульових коефіцієнтів спектру.

6. Порівняти отримані результати, зробити висновки.

Контрольні питання

1. Чому виникає необхідність в застосуванні стиснення відеозображень в СТЗ?

2. Назвіть переваги і недоліки різних методів стиснення цифрових відеозображень.

3. Назвіть основні етапи, з яких складається JPEG-алгоритм стиснення цифрових відеозображень.

4. Який результат застосування ДКП до цифрового відеозображення?

5. Як обчислюється пряме і обернене ДКП?

6. Які стандартні функції для обчислення прямого і оберненого ДКП існують в пакеті прикладних програм MatLab/Image Processing Toolbox?

7. Як впливає стиснення відеозображень на їх якість?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 17

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
2. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.
3. Борн Г. Форматы данных: Пер. с нем. – К.: ВНУ, 1995. – 668 с.
4. Горелик С.Л., Кац Б.М., Киврин В.И. Телевизионные измерительные системы. – М.: Связь, 1980. – 168 с.
5. Гринберг А.Д., Гринберг С. Цифровые изображения: Практическое руководство: Пер. с англ. – Минск: Попурри, 1997. – 400 с.
6. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. – СПб.: Питер Ком, 1999. – 816 с.
7. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
8. Ерганжиев Н.А. Цветное телевидение в измерительной технике. – М.: Связь, 1980. – 104 с.
9. Ингенблек В. Все о мультимедиа. – К.: ВНУ, 1996. – 352 с.
10. Методы передачи изображений. Сокращение избыточности: Пер. с англ. / Под ред. У.К. Прэтта. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.
11. Мюррей Д., Ван Райпер У. Энциклопедия форматов графических файлов: Пер. с англ. – К.: ВНУ, 1997. – 672 с.
12. Певзнер Б.М. Качество цветных телевизионных изображений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.
13. Пресс Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
14. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 792 с.
15. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Н.А. Ерганжиев и др. / Под ред. В.Е. Джаконии. – М. Радио и связь, 1986. – 456 с.
16. Техника цветного телевидения / Под ред. С.В. Новаковского. – М.: Связь, 1976. – 496 с.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 18

17. Цифровое кодирование телевизионных изображений / И.И. Цуккерман, Б.М. Кац, Д.С. Лебедев и др.; Под ред. И.И. Цуккермана. – М.: Радио и связь, 1981. – 240 с.
18. Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.К. Маригодова. – Севастополь: СевГТУ, 1997. – 214 с.
19. Шарыгин М.Е. Сканеры и цифровые камеры. – СПб.: BHV – Санкт-Петербург, 2000. – 384 с.
20. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
21. Яншин В.В. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы. – М.: Машиностроение, 1995. – 112 с.
22. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.

Допоміжна

23. Грайс Д. Графические средства персонального компьютера: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
24. Райан Д. Инженерная графика в САПР: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 391 с.
25. Шиб Йорг. Windows 95. Сотни полезных рецептов. – К.: BHV, 1996. – 560 с.
26. Шиб Йорг. Word 7.0. Сотни полезных рецептов. – К.: BHV, 1996. – 336 с.

Інформаційні ресурси

27. Сайт розробника програм Matlab і Simulink: www.mathworks.com/products/matlab/
28. Інтернет-публікації сайту-каталога <http://www.all-ebooks.com>.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 19

Додаток

Приклад програми для стиснення цифрових відеозображень за JPEG-алгоритмом

```
% ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2
% СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ЗА JPEG-АЛГОРИТМОМ
%
% ВВЕДЕННЯ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ
prompt={'ІМ"Я ФАЙЛА ЗОБРАЖЕННЯ',...
        'РОЗМІР ЗОБРАЖЕННЯ КxК ДИСКР. ТОЧОК:
K=32,64,128,256,512',...
        'РОЗМІР БЛОКУ ДКП NxN ДИСКР. ТОЧОК:
N=4,8,16,32,64,128,256,512',...
        'МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ ДКП: 1-СУМА; 2-МАТРИЦІ',...
        'КІЛЬКІСТЬ НЕНУЛЬОВИХ КОЕФ. ДКП: M=1,2,...,N; 0-МЕТОД НЕ
ВИКОРИСТ.',...
        'ПОРОГ ДЛЯ НЕНУЛЬОВИХ КОЕФ. ДКП: P=1,...,255; 0-МЕТОД НЕ
ВИКОРИСТ.',...
        'ВИВЕДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ: 1-ЗОБРАЖЕННЯ; 2-ТАБЛИЦЯ; 3-ЗОБР.
I ТАБЛ.'};
def={'apple.bmp','256','8','1','0','0','3'};
dlgTitle='ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2';
lineNo=1;
AddOpts.Resize='on';
AddOpts.WindowStyle='normal';
AddOpts.Interpreter='tex';
Answer=inputdlg(prompt,dlgTitle,lineNo,def,AddOpts);
ImageName=Answer{1}; % ІМ"Я ФАЙЛА ЗОБРАЖЕННЯ
K=str2num(Answer{2}); % РОЗМІР ЗОБРАЖЕННЯ КxК ДИСКР. ТО-
ЧОК
N=str2num(Answer{3}); % РОЗМІР БЛОКУ ДКП NxN ДИСКР. ТОЧОК
TypeCalc=str2num(Answer{4}); % МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ ДКП
M=str2num(Answer{5}); % КІЛЬКІСТЬ НЕНУЛЬОВИХ КОЕФ. ДКП
P=str2num(Answer{6}); % ПОРОГ ДЛЯ НЕНУЛЬОВИХ КОЕФ. ДКП
TypeOutput=str2num(Answer{7}); % ВИВЕДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

% ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ ЗМІННИХ
OrigImage=zeros(K,K);
RestoreImage=zeros(K,K);
CoefDCT=zeros(K,K);
CoefDCTCompress=zeros(K,K);
CoefMul=zeros(N,N);

% ЗАВАНТАЖЕННЯ ПОЧАТКОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ
RGB=imread(ImageName);
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 20

```

II=rgb2gray(RGB);
OrigImage=II(1:K,1:K);

% ОБЧИСЛЕННЯ ДКП
switch TypeCalc
case 1
    Time1=cputime;
    fun=@dct2;
    CoefDCT=blkproc(OrigImage,[N N],fun);
    Time2=cputime;
    fprintf('\nЧАС ОБЧИСЛЕННЯ ПРЯМОГО ДКП (СУМА) %7.3f
СЕКУНД\n',Time2-Time1);
case 2
    Time1=cputime;
    CoefMul=dctmtx(N);
    fun = inline('P1*double(x)*ctranspose(P1)', 1);
    CoefDCT=blkproc(OrigImage, [N N], fun, CoefMul);
    Time2=cputime;
    fprintf('\nЧАС ОБЧИСЛЕННЯ ПРЯМОГО ДКП (МАТРИЦІ) %7.3f
СЕКУНД\n',Time2-Time1);
end

% СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ
if P~=0
    CoefDCTCompress=CoefDCT;
    CoefDCTCompress(abs(CoefDCTCompress))<P)=0;
end
if M~=0
    h = waitbar(0,'СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ...');
    CoefDCTCompress=zeros(K,K);
    for i=1:(K/N)
        for j=1:(K/N)
            waitbar(((i-1)*(K/N)+j)/((K/N)*(K/N)),h);
            CoefDCTCompress(((i-1)*N+1):((i-1)*N+M),
((j-1)*N+1):((j-1)*N+M))=...
                CoefDCT(((i-1)*N+1):((i-1)*N+M),
((j-1)*N+1):((j-1)*N+M));
        end
    end
    close(h);
end
if (P==0) & (M==0)
    CoefDCTCompress=CoefDCT;
end

```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 21

% ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

switch TypeCalc

case 1

Time1=cputime;

fun=@idct2;

RestoreImage=uint8(blkproc(CoefDCTCompress,[N N],fun));

% RestoreImage=uint8(idct2(CoefDCTCompress));

Time2=cputime;

fprintf('ЧАС ОБЧИСЛЕННЯ ОБЕРНЕНОГО ДКП (СУМА) %7.3f
СЕКУНД\n',Time2-Time1);

case 2

Time1=cputime;

fun = inline('uint8(ctranspose(P1)*x*P1)', 1);

RestoreImage=blkproc(CoefDCTCompress,[N N], fun,
CoefMul);

Time2=cputime;

fprintf('ЧАС ОБЧИСЛЕННЯ ОБЕРНЕНОГО ДКП (МАТРИЦІ)
%7.3f СЕКУНД\n',Time2-Time1);

end

% ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБКИ, ЩО ВИНΙΚЛА В РЕЗУЛЬТАТІ СТИСНЕННЯ

ErrorDCTArray=abs(double(RestoreImage)-
double(OrigImage));

ErrorDCTMean=mean2(ErrorDCTArray);

ErrorDCTSKO=sqrt((sum(sum(ErrorDCTArray.^2)))/(K*K));

ErrorDCTMax=max(max(ErrorDCTArray));

ErrorDCTMin=min(min(ErrorDCTArray));

% ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СТИСНЕННЯ

RCompress=prod(size(CoefDCTCompress))/nnz(CoefDCTCompress);

% ВИВЕДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

if ((TypeOutput==2)|(TypeOutput==3))

fprintf('ДИНАМІЧНИЙ ДІАПАЗОН ЯСКРАВОСТІ 255 ДИСКРЕТ-
НИХ РІВНЕЙ\n');

fprintf('ПОХИБКА, ЩО ВИНΙΚЛА В РЕЗУЛЬТАТІ СТИСНЕН-
НЯ\n');

fprintf('СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВ-
НЕЙ\n', ErrorDCTMean);

fprintf('СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ %7.3f ДИС-
КРЕТНИХ РІВНЕЙ\n', ErrorDCTSKO);

fprintf('МІНІМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВ-
НЕЙ\n', ErrorDCTMin);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/3/152.00.1М/ВК4.1- 2020
	Екземпляр № 1	Арк 22 / 22

```

fprintf('МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВ-
НЕЙ\n', ErrorDCTMax);
fprintf('СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ (КІЛЬКІСТЬ ВСІХ КОЕФІ-
ЦІЄНТІВ ДКП/КІЛЬКІСТЬ НУЛЬОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ)\n');
fprintf('%7.3f РАЗІВ\n', RCompress);
end
if ((TypeOutput==1) | (TypeOutput==3))
    subplot(2,2,1); imshow(OrigImage);
    subplot(2,2,2); imshow(log(abs(CoefDCT)), []);
    colormap(gray(256)); colorbar;
    subplot(2,2,3); imshow(RestoreImage);
    subplot(2,2,4); imshow(log(abs(CoefDCTCompress)), []);
    colormap(gray(256)); colorbar;
end

```

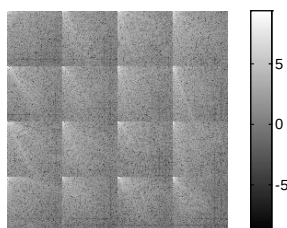
Результати роботи програми



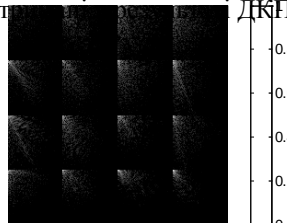
Початкове відеозображення



Відеозображення, відновлене після стиснення



Частотні коефіцієнти спектра, отримані з початкового ДКП



Частотні коефіцієнти спектра після стиснення

```

ЧАС ОБЧИСЛЕННЯ ПРЯМОГО ДКП (СУМА)      0.440 СЕКУНД
ЧАС ОБЧИСЛЕННЯ ОБЕРНЕНОГО ДКП (СУМА)    0.490 СЕКУНД
ДИНАМІЧНИЙ ДІАПАЗОН ЯСКРАВОСТІ 255 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ
ПОХИБКА, ЩО ВИНИКЛА В РЕЗУЛЬТАТІ СТИСНЕННЯ
СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ      2.815 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ
СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ      3.708 ДИСКРЕТНИХ РІВ-
НЕЙ
МІНІМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ      0.000 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ
МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ  27.000 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ
СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ (КІЛЬКІСТЬ ВСІХ КОЕФІЦІЄНТІВ
ДКП/КІЛЬКІСТЬ НУЛЬОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ)
4.248 РАЗІВ

```