Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ JPEG-АЛГОРИТМУ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

4.1. Мета роботи

Дослідити можливість стиснення цифрових відеозображень в процесі реєстрації візуальної інформації в СТЗ 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.

4.2. Основні теоретичні відомості

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 відеозображення. 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 вилучення цієї частини інформації випливає 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 вилучаються при стисненні за JPEG-алгоритмом.

Розглянемо JPEG-алгоритм стиснення відеозображень (рис. 4.1) з точки зору можливості виникнення викривлень і похибок на відеозображенні, відновленому після стиснення.

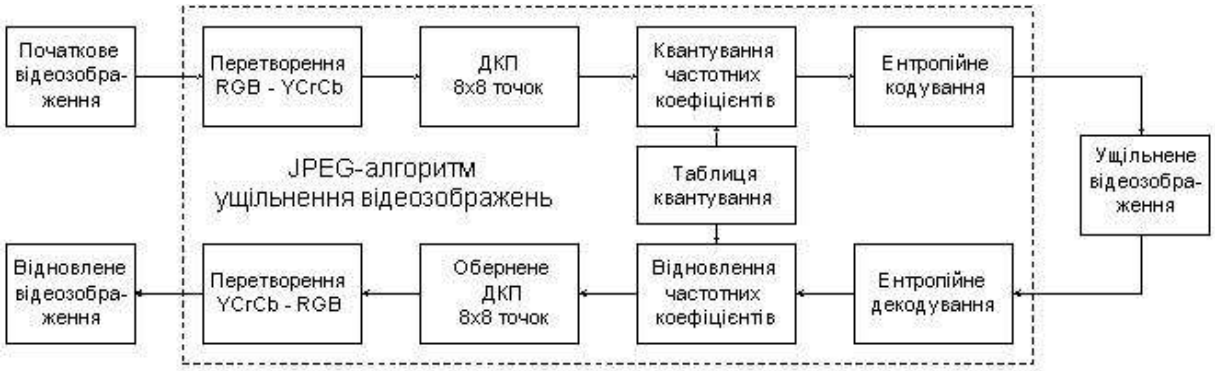


Рисунок 4.1 – Схема JPEG-алгоритму стиснення цифрових відеозображень

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 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:

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

де $u = 0, 1, \ldots, N\text{-}1$, $v = 0, 1, \ldots, N\text{-}1$,
$x = 0, 1, \ldots, N\text{-}1$, $y = 0, 1, \ldots . N\text{-}1$,
$C(u)$, $C(v)$ – постійні коефіцієнти,

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

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

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

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

$$F = C_1 \cdot Y \cdot C_1^T,$$
$$Y = C_1^T \cdot F \cdot C_1,$$

де C_1 – матриця постійних коефіцієнтів ДКП,

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

C_1^T – транспонована матриця C_1.

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 $\text{int}\{.\}$ – 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 інструментальних 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.

4.3. Підготовка до роботи

Розглянути основні методи перетворення цифрових відеозображень, які необхідні при їх реєстрації і зберіганні в СТЗ. 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. 4.1) і розробити програму для виконання цього завдання. При складанні програми рекомендується використовувати додаток 1 даного методичного посібника.

4.4. Виконання 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. 4.1.

Таблиця 4.1

Варіант	**Розмір відеозображення, КхК 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
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

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. 4.1. Метод обчислення ДКП – обчислення подвійної суми відповідно до визначення ДКП.
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. 4.1. 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. 4.1. 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.

4.5. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Стислий опис процедури стиснення цифрових відеозображень за JPEG-алгоритмом.

3. Програма для виконання дій з цифровими відеозображеннями, що вказані в розділі 2.4 “Виконання роботи”.
4. Результати досліджень на основі використання вказаної програми, відповідно до порядку виконання роботи.
5. Висновки по роботі.

4.6. Контрольні запитання

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?

Приклад програми для стиснення цифрових відеозображень за JPEG-алгоритмом

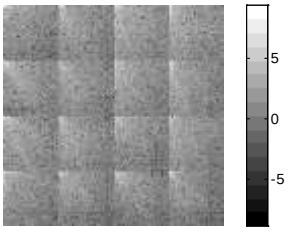
```
% ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
% СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ЗА JPEG-АЛГОРИТМОМ
% ВВЕДЕННЯ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ
prompt={'ІМ"Я ФАЙЛА ЗОБРАЖЕННЯ',...
 'РОЗМІР ЗОБРАЖЕННЯ KxK ДИСКР. ТОЧОК: K=32,64,128,256,512',...
 'РОЗМІР БЛОКУ ДКП NxN ДИСКР. ТОЧОК: N=4,8,16,32,64,128,256,512',...
   'МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ ДКП: 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. І 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 KxK ДИСКР. ТОЧОК
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);
```

```
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

% 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 ВИНИКЛА 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);
```

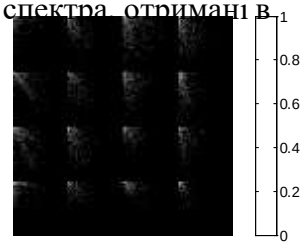
```
% ВИВЕДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
if ((TypeOutput==2)|(TypeOutput==3))
     fprintf('ДИНАМІЧНИЙ ДІАПАЗОН ЯСКРАВОСТІ 255 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ\n');
     fprintf('ПОХИБКА, ЩО ВИНИКЛА В РЕЗУЛЬТАТІ СТИСНЕННЯ\n');
     fprintf('СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ     %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ\n', ErrorDCTMean);
     fprintf('СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ    %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ\n', ErrorDCTSKO);
     fprintf('МІНІМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ  %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ\n', ErrorDCTMin);
     fprintf('МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ %7.3f ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ\n', ErrorDCTMax);
     fprintf('СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ (КІЛЬКІСТЬ ВСІХ КОЕФІЦІЄНТІВ 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



Частотні коефіцієнти спектра, отримані в




```
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 РІВНЕЙ
МІНІМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ    0.000 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ
МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ  27.000 ДИСКРЕТНИХ РІВНЕЙ
СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ (КІЛЬКІСТЬ ВСІХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДКП/КІЛЬКІСТЬ НУЛЬОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ)
  4.248 РАЗІВ
```