

МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕДУР СТИСКУ ЗОБРАЖЕНЬ З ЧАСТКОВОЮ ВТРАТОЮ ІНФОРМАЦІЇ, НА ПРИКЛАДІ МЕТОДІВ КОДУВАННЯ З ПЕРЕТВОРЕННЯМ

Катерина Кузнецова, Єлизавета Кузнецова, Сергій Малахов

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна
kate7smith12@gmail.com, kuznetsova2021kb11@student.karazin.ua, mailgate@meta.ua

Рецензент: Володимир Хома, д.т.н., проф., Опольський політехнічний Університет, Опольце, Польща
xoma@wp.pl

Надійшла: Листопад 2021.

Анотація: Застосування групи методів кодування з перетворенням, як основи для синтезу універсальних алгоритмів стиску відеоданих, базується на концепції максимального використання особливостей зорової системи людини: - час експозиції; - відстань спостереження; - величина міжкадрової різниці; - розмірність і співвідношення основних об'єктів спостереження; - тип зображень та ін.. Кодування з перетворенням дозволяє переходити від просторового до спектрального представлення оброблюваних зображень, і забезпечує широкі можливості для їх подальшого стиску та/або стеганографічної обробки.

В якості ключового компонента дослідного алгоритму використовувалося дискретне косинусне перетворення (ДКП). Воно є універсальним практично для всіх типів зображень. ДКП забезпечує хорошу спроможність до концентрації більшої частини значущої інформації, в меншій (у порівнянні з іншими перетвореннями) кількості коефіцієнтів. Ця властивість ДКП створює хороші стартові умови для проведення всіх наступних процедур стиснення зображень. Впливаючи на спектральне уявлення оброблюваних зображень, можна балансувати між якістю відтворення та ступенем стиску вихідного зображення, а впливаючи на розмір субблоків і параметри їх попередньої обробки, на загальний час виконання операцій.

При використанні методів кодування з перетворенням, основними параметрами, які впливають на ефективність процесу стиску, виступають: - використовуваний розмір субблоків, на які поділяється вихідне зображення; - спосіб відбору значущих коефіцієнтів; - використовуваний принцип квантування значущих коефіцієнтів. Розмір субблоків, є визначальним, так як від нього залежить чисельність подібних блоків та загальний час обчислення кожного елемента матриць ДКП.

Важливим етапом є процес округлення отриманих після ДКП значень. У дослідженні для цього використовується коефіцієнт закруглення. Процедура нормування елементів матриць реалізується шляхом ділення значень ДКП на задану константу закруглення, з подальшим округленням результату до цілих чисел.

Метою роботи є моделювання основних етапів процесу стиску статичних зображень, та дослідження впливу основних параметрів кодування на якісно-часові характеристики відтворюваних зображень (час обробки, обчислювальна складність, якість відтворення, характеристики спотворень тощо).

Ключові слова: методи стиску зображень; кодування з перетворенням; ДКП; відбір коефіцієнтів; спотворення; квантування коефіцієнтів; візуальна помітність.

1 Вступ

Методи кодування з перетворенням знайшли широке застосування в області обробки зображень і сигналів загалом, а також при реалізації різних методів компактного представлення (стиску) даних, фільтрації тощо. Протягом історії було розроблено багато різних методів і алгоритмів для вирішення конкретних прикладних задач [1-5]. В цілому, відомі методи можна класифікувати наступним чином: а) непрямі обчислення; б) пряма факторизація; в) рекурсивне обчислення. Так наприклад, основними механізмами при побудові дискретного косинус перетворення (ДКП), в (а) є швидке перетворення Фур'є (ШПФ) та перетворення Уолша-Адамара, але, на етапах обчислення часто залучаються і додаткові операції.

Алгоритми групи (б) отримують переваги швидкості над іншими реалізаціями, через використання розрідженої матричної факторизації. Алгоритми прямого розкладання на множники були адаптовані в т.ч. і до матриць ДКП, та вимагають меншої кількості множень або додавань.

Рекурсивний підхід в (в) призначений для створення ДКП вищого порядку з ДКП нижчого порядку. Спосіб реалізації даного алгоритму вимагає меншої кількості множень і додавань, і не потрібно виконувати інверсії або ділення коефіцієнтів. В якості компромісу в цьо-

му випадку потрібні операції зсуву та мультиплексування, а як відомо, при цифровій реалізації процесів обробки, операції зсуву набагато швидші за множення чи додавання.

В межах даної роботи розглядається класичне перетворення ДКП в рамках моделювання і дослідження основних процедур (*квантування, відбір і нормування значимих коефіцієнтів тощо*) дослідного алгоритму стиснення напівтонових зображень [3-5]. Дослідження проводилися з використанням математичного редактора MathCAD, який реалізовував потрібну модель процесів стиску та відновлення файлів статичних напівтонових зображень з різною ймовірністю перепаду яскравості між сусідніми елементами, відповідно до базових процедур дослідницького алгоритму. Був проведено аналіз способів реалізації зазначених процедур та висунення пропозицій щодо їх наступного застосування.

2 Основна частина

Як відомо [3-5], процес стиску зображень (*наприклад, що притаманний відомому алгоритму JPEG*), включає низку наступних етапів [4,6]:

- I.** Перетворення зображення в оптимальний колірний простір.
- II.** Субдискретизація компонентів кольоровості (або яскравості) пікселів.
- III.** Сегментація вихідного зображення (поділ на фрагменти за правилом).

Сегментація зображень застосовується з метою розподілу його на більш дрібні сегментів (фрагменти), що зменшує загальну обчислювальну складність алгоритму, спрощує буферизацію даних в пам'яті використовуваних пристроїв (*наприклад, різних мобільних гаджетів*), та прискорює їх довільну вибірку з диска, та буферної пам'яті. Результатом виконання етапу/процедури сегментації вихідних зображень, є отримання сукупності фрагментів (*субблоків заданої розмірності*), що «покривають» все зображення (*або безліч контурів виділених із зображення (для деяких випадків)*).

В залежності від обраного принципу формування субблоків (*пряме розбиття вихідного зображення [4,6] або проведення деяких спеціальних процедур попередньої обробки [7-9]*) всі елементи зображень (*пікселі*), в кожному отриманому субблоці (*квадратної матриці або вектор-рядку*), можуть мати, як однакові характеристики всіх складових елементів, так і різні характеристики (*наприклад, фіксований діапазон різниці яскравостей між всіма (або ж тільки сусідніх) складовими елементами субблоків*). Таким чином, в залежності від використовуваних принципів (*або критеріїв*) формування субблоків, сусідні сегменти (*субблоки*), можуть значно відрізняються один від одного [4, 7-8].

В рамках цієї роботи використовувалися субблоки однакової розмірності (8×8 , 16×16 , 32×32 елементів), з однаковим принципом їх формування (*тобто без проведення будь-яких процедур попередньої обробки*).

IV. Застосування до кожного субблоку дискретного косинусного перетворення, та зменшення надмірності даних.

В певному сенсі, ДКП допомагає сепарувати отримані фрагменти зображення на спектральні піддіапазони різного значення (*щодо візуальних характеристик певних деталей оброблюваних зображень*) [5]. Тобто використання ДКП забезпечує перехід від просторового представлення зображень в частотну область. При цьому, для обробки масивів цифрових зображень часто використовується двовимірний версія ДКП [3-4]. Рівняння для двовимірної версії ДКП (для зображення розміром $N \times M$) визначається наступним рівнянням:

$$F(u, v) = \left(\frac{2}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} f(i, j) \cdot \xi(i) \cdot \xi(j) \cdot \cos\left[\frac{\pi \cdot u}{2 \cdot N} (2 \cdot i + 1)\right] \cdot \cos\left[\frac{\pi \cdot v}{2 \cdot N} (2 \cdot j + 1)\right],$$

де $\xi(i) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{якщо } i = 0 \\ 1 & \text{якщо } i > 0 \end{cases}$; $f(i, j)$ – інтенсивність пікселя в i -му рядку та j - стовпці;

– $F(u, v)$ – коефіцієнт ДКП у рядку $k1$ та стовпці $k2$ матриці ДКП.

Відповідне зворотне двовимірне перетворення ДКП є простим $F^{-1}(u, v)$.

В межах проведеного циклу досліджень, моделювалась спрощена схема кодування зображень з перетворенням, основний зміст і етапи якої, полягають в наступному [3-4, 10-11]:

- Маємо вхідне зображення розмірністю N на M елементів, де в залежності від типу зображення, та кінцевої мети його обробки, можуть використовуватися різні рівні/схеми кодування його елементів (в умовах проведеного моделювання для кожного пікселя вихідного напівтонового зображення, застосовувалося 8 бітне кодування яскравості, тобто градація яскравості елементів змінювалась в межах від 0 до 255);
- Сегментація вихідного зображення на субблоки потрібної розмірності (в умовах проведеного моделювання використовувалися блоки розмірністю 8×8 , 16×16 та 32×32 елемента);
- Здійснення двовимірного ДКП для всіх субблоків з масиву оброблюваного кадру вихідного зображення ($N \times M$ елементів);
- Нормування отриманих значень спектральних коефіцієнтів (для кожної з матриць) та їх наступна селекція з використанням певних критеріїв, що враховують параметр « P » і запроваджений варіант налаштувань алгоритму (будуть розглянуті нижче);
- Для переважної більшості зображень більша частина енергії міститься в низькочастотних (НЧ) складових спектру [3-5, 11], які мають тенденцію групуватися у верхньому лівому куті отриманих матриць спектральних коефіцієнтів;
- Ближче к нижньому правому куту, кожної з отриманих матриць, групуються елементи, які характеризують дрібні деталі оброблюваних фрагментів зображень (область високих частот - ВЧ). В своїй переважній більшості вони набувають достатньо малих значень, тому ними можна знехтувати (з врахуванням особливостей зорової системи людини), з відносно прийнятними, для кожного конкретного випадку*, видимими спотвореннями вихідних елементів.

* - враховує режими обробки зображень, що обробляються (внутрішньокадровий або міжкадровий), час їх спостереження, структурну складність зображень, середнє значення ймовірності перепаду яскравості між сусідніми елементами кадру зображення; середній "розмах" значень яскравості у межах окремих фрагментів зображень тощо.

- Зменшення надмірності даних зображень виконується за рахунок реалізації «порогового» способу відбору значущих елементів трансформант [3-5]. У загальному випадку «пороговий» спосіб селекції коефіцієнтів, втілює ідею адаптивної обробки елементів трансформант, що забезпечує більш кращу якість відновлених зображень. В межах проведеного моделювання було застосовано 3 варіанта *Налаштувань*, що втілюють різні параметри реалізації процедур селекції значущих елементів та їх квантування.

V. Квантування елементів, що зберігаються із застосуванням механізмів, які оптимізовані до параметрів візуального сприйняття людиною [3-4, 8].

Окрім процедури селекції (відбору) значущих коефіцієнтів, вибір параметрів квантування цих коефіцієнтів, в значній мірі визначає досягнення потрібного балансу, між ступенем стиску зображення та якістю його відновлення. Стандарт JPEG [4, 6, 12] дозволяє використовувати для цього матриці заокруглення (визначаються показником фактору якості), проте ISO розробила набір відповідних матриць квантування. В даній роботі еквівалентом матриць квантування JPEG, виступає *коефіцієнт загрублення* – P (використані 3 дискретні значення), який втілює спрощену концепцію вибіркового зменшення обсягу цифрового опису вихідного зображення, за рахунок додаткового зменшення чисельності ненульових складових.

Крім того, при реалізації кожного з передбачених варіантів *Налаштувань*, забезпечувався різний порядок формування кінцевого масиву значущих коефіцієнтів. Це здійснювалось шляхом ділення всіх елементів, що пройшли пороговий відбір, на задану величину (наприклад, розраховане для кожної з матриць, середнє значення амплітуди коефіцієнтів перетворення (K_{cp}), без врахування елементів з координатами $(0;0)$, $(0;1)$ та $(1;0)$).

VI. Кодування результируючих коефіцієнтів перетворення.

Таким чином, у ході проведеного моделювання були досліджені основні процедури алгоритмів стиску зображень, що притаманні до групи методів кодування з перетворенням (наприклад, стандарт JPEG) [3, 10-15].

Основним завданням роботи є визначення природи взаємозв'язків між основними параметрами (розмір блоків і величина коефіцієнта закручення (параметр квантування)) процедур стиску зображень з перетворенням, та візуальною помітністю і структурою викривлень у відновлювальних зображеннях. З цієї причини деякі етапи стандартного алгоритму [4, 12] були «виключені» (наприклад, перетворення зображення в оптимальний кольірний простір і субдискретизація компонентів кольоровості тощо), як несуттєві, з точки зору процесів, що впливають на обчислювальну складність і якість відновлюваних зображень.

Як вже було зазначено вище, дослідний алгоритм, для всіх передбачених розмірностей блоків (8, 16 і 32), моделює пороговий спосіб відбору значимих коефіцієнтів з обов'язковим збереженням 3-х кутових елементів ((0;0), (0;1), (1;0)), та наступним квантуванням елементів, що зберігаються, в 3-х різних варіантах *Налаштувань*:

- **Налаштування I.** Збереження значень матриць, які більші або дорівнюють середньому значенню амплітуди коефіцієнтів (K_{cp}), для кожної окремої матриці. Всі інші значення прирівнюються до нуля (тобто не зберігаються). Цей варіант налаштувань еквівалентне високій якості відновлюваних зображень;
- **Налаштування II.** Збереження значень матриць, які отримані шляхом поділу отриманих коефіцієнтів ДКП, на значення, що дорівнює $K_{cp}/4$, з наступним округленням результату до цілих. Цей варіант налаштувань є аналогом середньої якості відновлюваних зображень;
- **Налаштування III.** Збереження значень матриць, які отримані шляхом поділу вихідних коефіцієнтів, на розраховане середнє значення амплітуди коефіцієнтів цієї матриці (K_{cp}). Подібний варіант налаштувань є аналогом низької якості відновлюваних зображень.

Крім того для забезпечення більшої наочності отриманих результатів, використовується, додатковий 4-й варіант налаштувань:

- **Налаштування IV.** Зберігається тільки кутовий елемент з координатами (0;0) (тобто, значення середньої яскравості для кожного з блоків кадру). Цей варіант налаштувань є демонстратором важливості збереження значимих коефіцієнтів для кожної з матриць зображення, та відображає наслідки запровадження граничних налаштувань алгоритму (наприклад в разі, обробки сегментів зображень, що складають зони міжкадрової різниці в відео послідовності кадрів [4]).

3 Загальні налаштування алгоритму та порядок реалізації етапів

M := READBMP("10")

- I. Завантаження вихідних даних в форматі *.bmp24:

	0	1	2	3	4	5	6
0	88	88	87	87	87	88	88
1	89	88	87	86	87	88	89
2	89	89	88	87	88	89	89
3	89	89	89	89	89	89	89
M = 4	87	88	90	91	90	88	87
5	90	90	88	88	88	90	90
6	90	90	88	88	88	90	90
7	90	90	88	88	88	90	90
8	90	90	88	88	88	90	90
9	90	90	88	88	88	90	...

- II. Графічне відображення використовуваного тестового зображення
(взято з мережі Інтернет):



- III. Процедури дослідницького алгоритму:

Загальні параметри:

- змінна $N_$ задає розмір блоків (8, 16 і 32), на які поділяється зображення;
- змінна $P_$ величина порога закруглення (аналог матриці заокруглення JPEG).

Перший етап. Сегментація зображення: розмір блоків $N_ \times N_$ пікселів кожний, де $N_ = 8$; $N_ = 16$; $N_ = 32$.

$$r := \begin{array}{l} \text{for } x \in 0..(m_ - 1) \\ \quad \text{for } y \in 0..(n_ - 1) \\ \quad \quad \text{for } i \in 0..(N_ - 1) \\ \quad \quad \quad \text{for } j \in 0..(N_ - 1) \\ \quad \quad \quad \quad R1_{i,j} \leftarrow M_{i+x \cdot N_, j+y \cdot 8} \\ \quad \quad \quad \quad r_{x,y} \leftarrow R1 \end{array} \quad r$$

Другий етап. Виконання прямого ДКП над кожним блоком тестового зображення. Алгоритм прямого ($T1(V1)$) ДКП наведено нижче:

$$T1(V1) := \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..(N_ - 1) \\ \quad \text{for } j \in 0..(N_ - 1) \\ \quad \quad T1_{i,j} \leftarrow \frac{1}{\sqrt{2N_}} \cdot C_{-i} \cdot C_{-j} \cdot \frac{1}{P_} \cdot \sum_{x=0}^{N_-1} \sum_{y=0}^{N_-1} \left[V1_{x,y} \cdot \cos \left[\frac{(2 \cdot x + 1) \cdot i \cdot \pi}{2 \cdot N_} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2 \cdot y + 1) \cdot j \cdot \pi}{2 \cdot N_} \right] \right] \end{array} \quad T1$$

Функція $T1(V1)$ реалізує пряме ДКП для масиву $V1$ із $N_ \times N_$ ел. В якості аргументу функції $T1(V1)$, використовуються окремі блоки растрових даних у просторовій області.

Змінна $C_$ містить службовий масив даних із 8 елементів, що необхідні для коректного обчислення прямого та зворотного дискретного косинусного перетворення (ЗДКП).

$$C_ := \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..(N_ - 1) \\ \quad \left| \begin{array}{l} C_{-i} \leftarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ if } i = 0 \\ C_{-i} \leftarrow 1 \text{ if } i > 0 \end{array} \right. \\ \quad C_ \end{array} \quad C_ = \begin{pmatrix} 0.707 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Третій етап. Відбір значущих елементів матриць ДКП: - налаштування I, II, III та IV.

Важливо підкреслити, що в межах проведеного моделювання у кожній з матриць, що отримані після проведення ДКП, в обов'язковому порядку, зберігаються три кутові елементи з координатами: (0;0), (0;1) та (1;0). Для решти області трансформант, обчислюється середнє значення амплітуди складових коефіцієнтів кожного блоку (K_{cp}) за формулою $S_{-}(H1)$, змінна tr1 містить середні значення всіх блоків:

$$S_{-}(H1) := \frac{\sum_{x=0}^{N_{-}1} \sum_{y=0}^{N_{-}1} (|H1_{x,y}|)}{(N_{-}2)}$$

$$tr1 := \begin{cases} \text{for } i \in 0..(m_{-}1) \\ \quad \text{for } j \in 0..(n_{-}1) \\ \quad \quad tr1_{i,j} \leftarrow S_{-}(tr_{i,j}) \end{cases} \quad tr1$$

Налаштування № I:

```
tr := for i ∈ 0..(m-1)
      for j ∈ 0..(n-1)
        for k ∈ 0..(N-1)
          for h ∈ 0..(N-1)
            continue if h = 0
                       k = 0
            continue if h = 1
                       k = 0
            continue if h = 0
                       k = 1
            (tri,j)k,h ← 0 if |(tri,j)k,h| < tr1i,j
```

Налаштування № II:

```
tr := for i ∈ 0..(m-1)
      for j ∈ 0..(n-1)
        for k ∈ 0..(N-1)
          for h ∈ 0..(N-1)
            continue if h = 0
                       k = 0
            continue if h = 1
                       k = 0
            continue if h = 0
                       k = 1
            (tri,j)k,h ← round [ (tri,j)k,h / (tr1i,j / 4) ]
```

Налаштування № III:

```
tr := for i ∈ 0..(m-1)
      for j ∈ 0..(n-1)
        for k ∈ 0..(N-1)
          for h ∈ 0..(N-1)
            continue if h = 0
                       k = 0
            continue if h = 1
                       k = 0
            continue if h = 0
                       k = 1
            (tri,j)k,h ← round [ (tri,j)k,h / tr1i,j ]
```

Налаштування № IV:

```

tr :=
  for i ∈ 0..(m_ - 1)
    for j ∈ 0..(n_ - 1)
      for k ∈ 0..(N_ - 1)
        for h ∈ 0..(N_ - 1)
          continue if | h = 0
                    | k = 0
          (tri,j)k,h ← (tri,j)k,h · 0
tr

```

Четвертий етап. Виконання ЗДКП над кожним блоком.

Алгоритм зворотного (T1(V1)) ДКП:

```

V1(T1) :=
  for i ∈ 0..(N_ - 1)
    for j ∈ 0..(N_ - 1)
      V1i,j ← round [ ∑x=0N_-1 ∑y=0N_-1 [ T1x,y · P_ ·  $\frac{1}{\sqrt{2N_}}$  · C-x · C-y · cos[  $\frac{(2 \cdot i + 1) \cdot x \cdot \pi}{2 \cdot N_}$  ] · cos[  $\frac{(2 \cdot j + 1) \cdot y \cdot \pi}{2 \cdot N_}$  ] ] ]
V1

```

Функція V1(T1) реалізує зворотне дискретно-косинусне перетворення масиву T1 з N_×N_× чисел. В якості аргументу функції V1(T1) використовуються окремі блоки даних в частотній області (*матриці трансформант*).

Змінна C_— містить службовий масив даних із восьми елементів, аналогічній до того, що використовувався в алгоритмі ДКП.

П'ятий етап. Відтворення зображення: складання всіх блоків в єдине ціле:

```

M2 :=
  for x ∈ 0..(m_ - 1)
    for y ∈ 0..(n_ - 1)
      temp1 ← tr-x,y
      for i ∈ 0..(N_ - 1)
        for j ∈ 0..(N_ - 1)
          temp2x·N_+i,y·N_+j ← temp1i,j
temp2

```

4 Результати моделювання

Продемонструємо результати досліджень для блоків, розміром 8×8 елементів.

I. Налаштування № I.

1. Встановлені параметри кодування: N_— = 8 та P_— = 1:

$$\text{tr}_{1,2} = \begin{pmatrix} 711.125 & -0.841 & 3.413 & -5.578 & 2.875 & -0.886 & 0.074 & -0.282 \\ 0.616 & 5.434 & -6.538 & 4.59 & -4.455 & 2.543 & -1.212 & 0.239 \\ 1.51 & 1.225 & -2.481 & -0.558 & 1.995 & -1.537 & -1.399 & 2.392 \\ 2.966 & -0.888 & -6.967 & 8.714 & -6.088 & 2.714 & -2.112 & 2.026 \\ -1.125 & 4.58 & -3.605 & 1.434 & -0.375 & 0.308 & -0.536 & 0.709 \\ -4.027 & 3.247 & -1.709 & 0.153 & 0.614 & -0.696 & 1.055 & -0.626 \\ 0.051 & -0.138 & -0.899 & 2.071 & -2.044 & 0.823 & 1.231 & -1.412 \\ -0.646 & 0.678 & -0.02 & 0.194 & -0.522 & 0.317 & 0.794 & -0.951 \end{pmatrix}$$

$$\text{tr}_{1,2} = \begin{pmatrix} 711.125 & -0.841 & 3.413 & -5.578 & 2.875 & -0.886 & 0.074 & -0.282 \\ 0.616 & 5.434 & -6.538 & 4.59 & -4.455 & 2.543 & -1.212 & 0.239 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Матриця коефіцієнтів після проведення ДКП та після порівняння з K_{cp}***
(для блоку з координатами 1,2)

*** - які більші або дорівнюють середньому значенню амплітуди коефіцієнтів (K_{cp}).

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	11.828	12.365	15.713	19.366	25.895	29.273	25.272	13.061
1	12.395	12.023	13.029	23.756	23.976	32.297	27.635	12.848
2	12.543	12.618	12.781	29.036	19.727	22.367	29.209	13.484
3	12.16	12.151	12.334	25.471	24.09	23.878	33.792	16.127
4	12.452	11.928	12.051	19.399	17.378	22.299	28.449	25.809
5	12.663	12.467	12.44	18.833	23.617	32.222	40.814	44.306
6	12.167	12.285	12.329	17.898	19.119	33.818	41.911	32.093
7	12.427	12.169	12.518	16.826	21.397	27.928	19.988	28.244
8	12.012	11.734	11.895	12.075	19.483	19.642	24.185	26.918
9	12.406	11.675	11.937	12.022	23.939	19.235	18.89	22.768
10	11.812	11.481	11.68	11.855	22.122	12.77	15.706	27.481
11	11.245	11.091	11.03	11.185	14.939	14.641	12.876	22.616
12	10.239	10.551	10.789	10.861	18.685	17.912	13.284	32.166
13	10.512	10.619	10.636	10.677	24.224	14.486	15.601	18.764
14	10.658	11.184	10.9	10.764	17.033	21.093	23.237	17.315
15	11.283	10.894	10.929	11.016	15.093	16.127	10.726	...

Рис. 2 – Масив значень K_{cp} для всіх блоків (8×8 елементів) тестового зображення



м

Рис. 3 – Відновлене зображення для $N_ = 8$ та $P_ = 1$



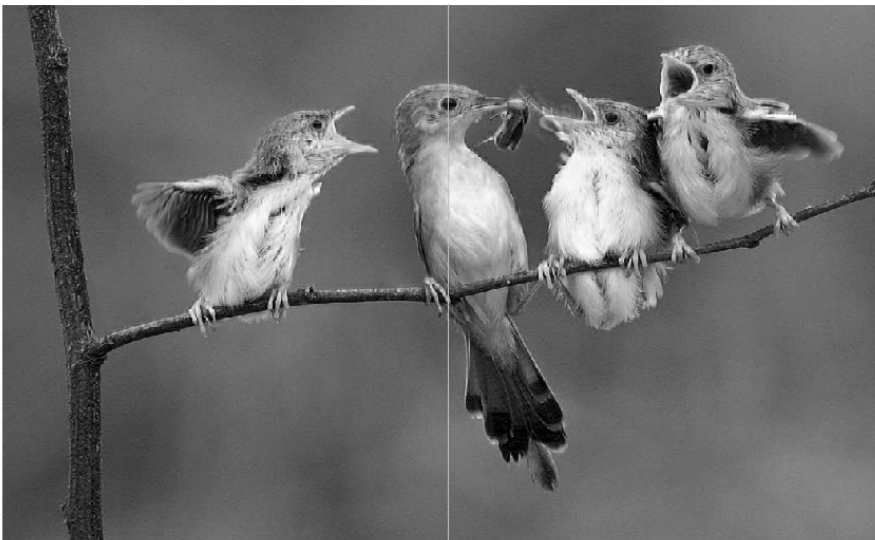
м

Рис. 4 – Відновлене зображення для $N_ = 8$ та $P_ = 5$



м

Рис. 5 – Відновлене зображення для $N_ = 8$ та $P_ = 10$

II. Налаштування № II.Рис. 6 – Відновлене зображення для $N_ = 8$; $P_ = 1$ Рис. 7 – Відновлене зображення для $N_ = 8$; $P_ = 5$ Рис. 8– Відновлене зображення для $N_ = 8$; $P_ = 10$

III. Налаштування № III.

Рис. 9 – Відновлене зображення для $N_ = 8$; $P_ = 1$



Рис. 10 – Відновлене зображення для $N_ = 8$; $P_ = 5$



Рис. 11 – Відновлене зображення для $N_ = 8$; $P_ = 10$

IV. Налаштування № IV.

При застосуванні цього варіанта налаштувань, використання параметра « P » немає сенсу, так як для відновлення вихідних матриць субблоків (ЗДКП), використовується лише значення середньої яскравості блоку (0;0). Тобто, проводячи аналогію налаштувань алгоритму, результати використання котрих представлені на Рис. 3-11, у даному випадку, маємо абсолютно однаковий результат для всіх можливих значень параметру « P » (див. Рис. 12).



a)



b)

Рис. 12 – Вихідне (a) та відновлене (b) зображення для IV-го варіанту налаштувань при $N_ = 8$

При подальшому збільшенні розмірності субблоків (16 та 32), загальна тенденція процесу, яка характерна для розмірності блоків 8×8 , також зберігається. При цьому, візуальна помітність спотворень зображень, які відновлюються, при малих значеннях коефіцієнта загрублення ($P=1 \div 5$), знаходиться в прийнятних рамках, причому для всіх 3-х варіантів налаштувань. Це підтверджує хорошу "чутливість" (адаптивність) порогового способу відбору коефіцієнтів до локальної статистики оброблюваних блоків зображень.

В якості прикладу наведемо (Рис. 13-15) характерні результати роботи моделюючого алгоритму для блоків розмірністю 32×32 (Налаштування № 1, коеф. загрублення: $P = 1$).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	937.287	179.949	25.545	-78.389	8.68	8.089	21.672	-15.322	-11.726	6.239	7.399	-7.58	4.287	1.92	-9.846	0.89
1	0.449	-20.336	45.823	-14.656	-6.188	-22.335	32.565	-11.099	8.496	-13.326	-4.698	6.562	11.646	-10.175	-11.716	14.023
2	-28.382	31.69	-27.505	30.07	-13.29	6.655	-15.644	22.107	5.405	-15.232	-1.081	7.091	-0.633	0.595	-4.071	-4.867
3	-19.186	15.137	3.383	9.809	-21.253	17.405	-12.495	14.04	-16.507	9.861	6.619	-9.405	-5.299	25.38	-8.911	-4.304
4	-8.201	8.117	-10.347	8.337	-0.866	7.226	-22.456	21.259	-6.154	1.416	0.627	-4.772	6.332	-1.372	4.976	-6.263
5	-6.552	10.146	-17.436	16.782	-3.375	-9.959	7.551	-12.547	19.964	-20.704	12.862	-6.014	3.892	-5.124	4.238	8.932
6	3.052	-12.165	11.043	3.07	-2.334	-7.905	12.482	-12.832	14.22	-9.868	9.293	-15.468	16.312	-11.947	7.979	-2.155
7	-7.859	-5.317	19.785	-10.379	-3.661	-2.064	8.467	-7.096	-6.251	16.711	-19.592	13.554	-9.75	6.569	1.72	-10.481
8	5.098	-11.389	16.52	-4.799	-4.112	5.814	-11.183	21.998	-21.23	14.703	-14.04	19.176	-6.888	-9.801	10.286	2.962
9	-19.025	22.307	-19.238	19.804	-16.773	7.36	-4.088	2.69	-3.739	-0.62	7.624	-11.074	8.112	0.31	-0.584	-2.307
10	6.468	-7.8	7.463	-7.285	5.519	-4.063	-4.516	12.343	-15.277	13.43	-5.365	-3.038	11.835	-10.695	9.502	-6.352
11	9.093	-15.222	13.403	-2.945	-6.635	11.782	-8.048	2.48	5.854	-10.597	5.194	5.16	-14.772	10.214	-6.925	1.634
12	-7.614	8.86	-0.28	-1.295	-3.782	3.961	1.316	-6.267	3.681	0.666	-4.467	6.701	-3.506	-1.573	7.348	-6.554
13	-5.517	10.778	-13.411	11.175	-7.7	5.298	-3.401	0.161	-1.394	-3.98	3.509	4.495	-5.033	1.357	-2.676	8.218
14	10.069	-10.99	5.703	-10.118	11.843	-9.636	8.252	-7.762	7.387	-4.383	0.809	-5.122	14.113	-9	-12.57	16.045
15	10.083	-17.539	17.233	-17.778	14.764	-10.425	6.478	-4.221	-0.75	7.822	-7.612	3.084	-7.474	12.208	-3.363	-9.172

Рис. 13 – Фрагмент (16×16) матриці коефіцієнтів після проведення ДКП (блок 1;2)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	937.287	179.949	25.545	-78.389	8.68	8.089	21.672	-15.322	-11.726	6.239	7.399	-7.58	4.287	1.92	-9.846	0.89
1	0.449	-20.336	45.823	-14.656	-6.188	-22.335	32.565	-11.099	8.496	-13.326	-4.698	6.562	11.646	-10.175	-11.716	14.023
2	-28.382	31.69	-27.505	30.07	-13.29	0	-15.644	22.107	0	-15.232	0	7.091	0	0	0	0
3	-19.186	15.137	0	9.809	-21.253	17.405	-12.495	14.04	-16.507	9.861	0	-9.405	0	25.38	-8.911	0
4	-8.201	8.117	-10.347	8.337	0	7.226	-22.456	21.259	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	10.146	-17.436	16.782	0	-9.959	7.551	-12.547	19.964	-20.704	12.862	0	0	0	0	8.932
6	0	-12.165	11.043	3.07	0	-7.905	12.482	-12.832	14.22	-9.868	9.293	-15.468	16.312	-11.947	7.979	0
7	-7.859	0	19.785	-10.379	0	0	8.467	-7.096	0	16.711	-19.592	13.554	-9.75	0	0	-10.481
8	0	-11.389	16.52	0	0	0	-11.183	21.998	-21.23	14.703	-14.04	19.176	-6.888	-9.801	10.286	0
9	-19.025	22.307	-19.238	19.804	-16.773	7.36	0	0	0	0	7.624	-11.074	8.112	0	0	0
10	0	-7.8	7.463	-7.285	0	0	0	12.343	-15.277	13.43	0	0	11.835	-10.695	9.502	0
11	9.093	-15.222	13.403	0	0	11.782	-8.048	0	0	-10.597	0	0	-14.772	10.214	-6.925	0
12	-7.614	8.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.348	0
13	0	10.778	-13.411	11.175	-7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.218
14	10.069	-10.99	0	-10.118	11.843	-9.636	8.252	-7.762	7.387	0	0	0	14.113	-9	-12.57	16.045
15	10.083	-17.539	17.233	-17.778	14.764	-10.425	0	0	0	7.822	-7.612	0	-7.474	12.208	0	-9.172

Рис. 14 – Фрагмент (16×16) матриці коефіцієнтів блоку (1;2) після порівняння з K_{cp}

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	4.587	5.954	7.092	8.058	7.38	6.563	4.814	1.932	1.752	1.72	1.725	1.776	1.811	1.821	1.795	1.741
1	2.632	4.344	6.758	8.911	10.083	9.832	8.694	6.22	1.818	1.722	1.811	1.838	1.888	1.906	1.868	1.854
2	1.544	3.441	4.42	5.252	6.239	5.915	5.519	4.71	1.807	1.718	1.771	1.771	1.809	1.797	1.802	1.819
3	1.424	2.956	4.3	4.89	5.799	5.935	5.395	4.861	2.45	1.714	1.767	1.774	1.795	1.807	1.776	1.804
4	1.423	2.39	4.227	4.696	5.911	6.119	5.399	5.053	3.257	1.582	1.676	1.705	1.762	1.767	1.765	1.761
5	1.494	1.709	3.535	4.245	4.63	5.719	5.304	4.953	4.434	1.627	1.585	1.599	2.433	2.928	3.32	3.892
6	1.578	1.636	3.497	4.591	5.123	6.507	6.334	5.77	5.363	2.629	1.656	1.68	1.854	2.288	2.799	3.352
7	1.632	1.644	2.99	4.461	5.598	6.543	6.894	6.589	5.695	4.288	1.824	1.659	1.663	1.671	1.7	1.876
8	1.643	1.641	1.712	3.385	4.494	5.585	6.371	6.236	5.806	4.578	2.68	1.672	1.666	1.662	1.679	1.683
9	1.644	1.639	1.661	2.344	4.083	4.838	6.67	8.43	8.482	8.868	8.784	7.476	7.913	7.53	7.507	7.34
10	1.577	1.62	1.638	1.65	3.947	6.425	7.301	7.738	8.027	7.206	6.833	6.387	4.728	3.476	2.689	1.692
11	1.531	1.536	1.585	1.628	2.363	3.275	3.733	4.281	4.552	4.474	4.166	3.447	1.479	1.477	1.507	1.527
12	1.586	1.571	1.583	1.564	2.208	3.466	3.998	4.273	4.888	4.572	4.282	3.808	1.347	1.332	1.351	1.379
13	1.424	1.441	1.461	1.43	1.675	3.167	3.468	3.876	4.732	4.332	4.118	3.733	1.256	1.233	1.284	1.316
14	1.371	1.355	1.385	1.638	3.288	3.994	4.096	4.238	3.626	3.335	3.201	2.747	1.412	1.461	1.508	1.519
15	1.506	1.491	1.536	1.619	3.401	3.975	4.124	4.43	4.26	4.38	4.392	3.873	1.77	1.752	1.825	1.871

Рис. 15 – Розраховані значення K_{cp} для всіх блоків кадру зображення (фрагмент)

3 Висновки

Застосування методів кодування з перетворенням, як основи для синтезу відповідних алгоритмів стиску відеоданих різного типу (*нерухомі та динамічні зображення; повнокольорові та напівтонові; із простою та складною структурою тощо*), базується на концепції максимального використання особливостей зорової системи людини, щодо характеристик сприйняття візуальної інформації для виявлення мінімальної кількості даних, які необхідні для цілей наступної однозначної ідентифікації, передачі та/або зберігання цієї інформації, при заданих умовах/критеріях її спостереження (*час експозиції, відстань спостереження, частота зміни сцен, розмірність і співвідношення основних об'єктів спостереження та ін.*).

В якості ключового компонента дослідного алгоритму використовувалося ДКП, яке практично з однаковою ефективністю можна застосовувати для всіх типів зображень [2-4]. Воно дозволяє переходити від просторового до спектрального представлення оброблюваних зображень, та забезпечує хорошу спроможність до концентрації більшої частини значущої інформації в меншій, у порівнянні з іншими перетвореннями, кількості відліків (*ко-еф. перетворення*). Ця властивість ДКП створює хороші стартові умови для проведення всіх наступних процедур стиснення зображень та/або інкапсуляції стеганоконтенту [3-8, 11].

Впливаючи на спектральне уявлення оброблюваних зображень, можна балансувати між якістю відтворення та ступенем стиску (*або ступенем допустимих спотворень*) вихідного зображення, а впливаючи на розмір субблоків і параметри їх попередньої обробки [7-8], на загальний час обробки зображення.

При реалізації систем стиску відеоданих на основі методів кодування з перетворенням, основними параметрами, які безпосередньо впливають на ефективність реалізації процесу зменшення обсягів цифрового опису вхідних зображень виступають: - використовуваний розмір блоків, на які поділяється вихідне зображення; - спосіб відбору значимих коефіцієнтів перетворення; - використовуваний спосіб/принцип квантування значимих коефіцієнтів. Причому розмір субблоків, на які поділяється вихідне зображення, є визначальним, адже саме від нього, в значній мірі, залежить загальний час, що необхідний для обчислення кожного елемента матриці ДКП (*використовуються два вкладені цикли*) [12].

Відповідно до отриманих результатів моделювання, при обробці всіх типів зображень, підтверджено загальні тенденції спостережуваних процесів, що полягають в наступному: - із збільшенням розміру субблоків (*в нашому випадку квадратні матриці розмірністю 8×8 ; 16×16 і 32×32 ел.*) уповільнюється процес обробки зображення; - із збільшенням розміру субблоків, плавно зростає і коефіцієнт стиску; - зменшується загальна кількість подібних блоків зображень [7-8]; - збільшується діапазон міжблокової різниці, середньої амплітуди коефіцієнтів трансформант (K_{cp}), одержуваних після проведення ДКП (*Рис. 2, 15*); - зростання розмірності субблоків, в певній мірі, компенсує процес загрублення порогових значень селекції коефіцієнтів перетворення (*Рис. 13-14*); - погіршуються вихідні умови для механізмів каскадної комбінаторики наступної стегановставки; - пороговий метод селекції значущих коефіцієнтів ДКП, забезпечує високі параметри адаптації до локальної статистики оброблюваних блоків зображень (*Рис. 15*); - пороговий спосіб відбору коефіцієнтів забезпечує досить хорошу спроможність до компенсації можливих наслідків від невдалих налаштувань параметрів квантування, коефіцієнтів що зберігаються (*див. Рис. 3-5; 6-8; 9-11*); - подальша обробка масиву значень середніх амплітуд коефіцієнтів трансформант надає досить широкий спектр можливостей, як для оптимізації процедур стиску зображень, так і для реалізації певних процедур наступної стегановставки; - обробка трансформант при збереженні тільки кутових значень (*Рис. 12*), може розглядатися, як варіант для обробки областей міжкадрової різниці динамічних зображень або для цілей попередньої візуалізації зображень (*тобто без їх повного розпакування*) в малоресурсних алгоритмах, що адаптовані до умов використання різних мобільних платформ.

Процес квантування, отриманих після проведення ДКП, значень є дуже важливим етапом у всьому ланцюжку процедур алгоритму стиснення зображень. В загальному сенсі, дана

процедура представляє собою процес зменшення кількості бітів, необхідних для зберігання коефіцієнтів матриці ДКП за рахунок втрати їх точності. В межах даної роботи для цього використовувалася, відповідний коефіцієнт закруглення – « P ». Після проведення ДКП для всіх наявних блоків здійснюється послідовне нормування отриманих елементів матриць. Ця процедура реалізується шляхом ділення отриманих значень на задану константу « P », з подальшим округленням результату до цілих. Як підтвердили результати моделювання пороговий метод селекції коефіцієнтів трансформант, при всіх варіантах налаштувань параметрів порогового відбору, забезпечує високі параметри візуалізації тестових зображень (див. Рис. 3-5; 6-8; 9-11) при зміні параметру « P » в діапазоні від 1 до 10.

Посилання

- [1] N. Chelemaal-D and K. R. Rao // Fast computational algorithms for the Discrete Cosine Transform // 9th Annual Asilomar Conf. on Circuit, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, Nov. 1985.
- [2] Красильников Н.Н. Статистическая теория передачи изображений. - М.: Связь, 1976. – 184 с.
- [3] Прэрт У. Цифровая обработка изображений. т. 1,2. - М.: Мир, 1985. - 736 с.
- [4] Зубарев Ю.Б., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. - М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
- [5] Королев А.В. Оценка информативности трансформант дискретного косинусного преобразования. Системы Обработки Информации. 2003. № 3. С. 81-86.
- [6] About JPEG // Електронний ресурс. Режим доступу – <http://www.pcs-ip.eu/index.php/main/edu/5>.
- [7] Morozov, D., Shaforostov, M., Malakhov, S., & Serbin, V. (2018). Подвійна обфускація трансформант малоресурсного стегаючого алгоритма. Комп'ютерні науки та кібербезпека, 9(1), 22-34. вилучено із <https://periodicals.karazin.ua/cscs/article/view/12015>
- [8] Гончаров М. О. Дослідження процедур попередньої підготовки вихідних даних для стегаючого алгоритма. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали 11-ї міжнар. наук.-техн. конф., 8–9 квіт. 2021 р. м. Баку–Харків–Київ–Жиліна. т. 2. с. 63. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/52020> (дата звернення 1.05.2021).
- [9] Рубан И. В., Клименко Л. А. Сжатие видеоданных длинами серий с закруглением цвета. Информатика. Киев: Наукова думка, 1998. № 5. С. 44-48.
- [10] The Discrete Cosine Transform // Електронний ресурс. Режим доступу – <https://users.cs.cf.ac.uk/Dave.Marshall/Multimedia/node231.html>
- [11] Кузнецов О. О., Полуяненко М. О., Кузнецова Т. Ю. Приховування даних у частотній області нерухомих зображень на основі кодування різниці абсолютних значень коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення // Методичні рекомендації.
- [12] Матрюков Д. Краткое объяснение JPEG и его реализации. Алгоритмы сжатия информации. Часть 7. Сжатие графической информации.
- [13] Kasperovich L.V. Multiplication free scaled 8 x 8 ДКП algorithm with 530 additions // Електронний ресурс. Режим доступу – <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/2419/0000/Multiplication-free-scaled-8-x-8-ДКП-algorithm-with-530/10.1117/12.206390.full?SSO=1>.
- [14] Douglas A. Kerr // Chrominance Subsampling in Digital Images // Електронний ресурс. Режим доступу – <http://dougkerr.net/Pumpkin/articles/Subsampling.pdf>.
- [15] Hou H. A Fast Recursive Algorithm For Computing The Discrete Cosine Transform // Електронний ресурс. Режим доступу – https://www.researchgate.net/publication/3235321_A_Discrete_Fourier-Cosine_Transform_Chip.

Рецензент: Владимир Хома, д.т.н., проф., Опольский Политехнический Университет, Ополье, Польша.
E-mail: xoma@wp.pl

Поступила: Ноябрь 2021.

Авторы:

Екатерина Кузнецова, студентка кафедры безопасности информационных систем и технологий, ХНУ имени В. Н. Каразина, Харьков, Украина. E-mail: kate7smith12@gmail.com
Елизавета Кузнецова, студентка кафедры безопасности информационных систем и технологий, ХНУ имени В. Н. Каразина, Харьков, Украина. E-mail: kuznetsova2021kb11@student.karazin.ua
Сергей Малахов, к.т.н., с.н.с., доцент факультета компьютерных наук, ХНУ имени В. Н. Каразина, Харьков, Украина.
E-mail: mailgate@meta.ua

Моделирование основных процедур сжатия изображений с частичной потерей информации, на примере методов кодирования с преобразованием.

Аннотация. Применение группы методов кодирования с преобразованием, как основы для синтеза универсальных алгоритмов сжатия видеоданных, базируется на концепции максимального использования особенностей зрительной системы человека: - время экспозиции; - расстояние наблюдения; - величина межкадровой разницы; - размерность и соотношение

основных объектов наблюдения; - тип изображений и др. Кодирование с преобразованием позволяет переходить от пространственного к спектральному представлению обрабатываемых изображений и обеспечивает широкие возможности для их последующего сжатия и/или стеганографической обработки.

В качестве ключевого компонента исследовательского алгоритма, использовалось дискретное косинусное преобразование (ДКП). Оно является универсальным практически для всех типов изображений. ДКП обеспечивает хорошую способность к концентрации большей части значимой информации, в меньшем (по сравнению с другими преобразованиями) количестве коэффициентов. Это свойство ДКП создает хорошие стартовые условия для всех следующих процедур сжатия изображений. Влияя на спектральное представление обрабатываемых изображений, можно балансировать между качеством воспроизведения и степенью сжатия исходного изображения, а влияя на размер субблоков и параметры их предварительной обработки, на общее время выполнения операций.

При использовании методов кодирования с преобразованием, основными параметрами, влияющими на эффективность процесса сжатия, являются: - используемый размер субблоков, на которые делится исходное изображение; - метод отбора значимых коэффициентов; - используемый принцип квантования важных коэффициентов. Размер субблоков является определяющим, т.к. от него зависит количество подобных блоков и общее время вычисления каждого элемента матриц ДКП. Важным этапом является процесс округления, полученных после ДКП значений. В исследовании для этого используется коэффициент закругления. Процедура нормирования элементов матриц реализуется путем деления значений ДКП на заданную константу закругления с последующим округлением результата до целых чисел.

Целью работы является моделирование основных этапов процесса сжатия статических изображений и исследование влияния основных параметров кодирования на качественно-временные характеристики воспроизводимых изображений (время обработки, вычислительная сложность, качество воспроизведения, характеристики искажений и т.п.).

Ключевые слова: методы сжатия изображений; кодирование с преобразованием; ДКП; отбор коэффициентов; искажения; квантование коэффициентов; визуальная заметность.

Reviewer: Volodymyr Khoma, Dr. of Sciences (Eng.), Full Prof., The Opole University of Technology, Opole, Poland.
E-mail: xoma@wp.pl

Received: November 2021.

Authors:

Kateryna Kuznetsova, student of the Department of Security of Information Systems and Technologies, Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: kate7smith12@gmail.com

Yelyzaveta Kuznetsova, student of the Department of Security of Information Systems and Technologies, Kharkiv National University named after V.N. Karazina, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: kuznetsova2021kb11@student.karazin.ua

Serhii Malakhov, Ph.D., Senior Researcher, Computer Science Department, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine. E-mail: mailgate@meta.ua

Modeling of basic image-lossy compression procedures using transformation coding methods, as an example.

Annotation. Using the set of transformation coding methods as the ground to synthesize of universal video compression algorithms is based on using the features of the human visual system: - exposure time; - observation distance; - the value of the interframe difference; - dimension and ratio of main observed objects; - type of images, etc. Transform coding allows transiting from spatial to spectral representation of the processed images and provides ample opportunities for their subsequent compression and/or steganographic processing.

The main component of the research algorithm is the discrete cosine transform (DCT). It is universal for almost all types of images. DCT provides a good ability to concentrate most of the relevant information in a smaller (compared to other transformations) number of coefficients. This DCT property creates good initial conditions for all the following image compression procedures. By influencing the spectral representation of the processed images, it is possible to balance between the reproduction quality and the degree of compression of the original image, and by influencing the size of the sub-blocks and the parameters of their preprocessing, it is possible to reduce the total time of operations proceed.

When using transform coding methods, the main parameters affecting the efficiency of the compression process are: - the used size of the sub-blocks into which the original image is divided; - the method of selecting significant coefficients; - the used principle of quantizing important coefficients. The size of the sub-blocks is decisive, since the number of such blocks and the total computation time for each element of the DCT matrices depend on it. An important step is the rounding process of the values obtained after DCT. The study uses a coarsening factor for this. The procedure for normalizing matrix elements is implemented by dividing the DCT values by a given coarsening constant, followed by rounding the result to the integer numbers.

The aim of the work is to simulate the main steps of the compression of static images and study the influence of the main coding parameters on the qualitative and temporal characteristics of the reproduced images (processing time, computational complexity, reproduction quality, distortion characteristics, etc.).

Keywords: Image compression methods; Transform encoding; DCT; Selection of coefficients; Distortion; Quantization of coefficients; Visual visibility.