

**ВИЯВЛЕННЯ МАСШТАБУВАННЯ З КОЕФІЦІЄНТОМ, МЕНШИМ
ОДИНИЦІ, ЯК ФАЛЬСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ**

В.В. Зоріло, Є.В. Тимофеев, О.Ю. Лебедєва

Національний університет «Одеська політехніка»
1 Шевченка пр., Одеса, 65044, Україна
email: v.v.zorilo@op.edu.ua

Виявленню підробок цифрових зображень у відкритих джерелах присвячено багато уваги. Це пов'язано із поширенням мобільної фото- і відео-техніки, з доступністю та багатофункціональністю графічних редакторів, а також із зростанням кіберзлочинності. Кібербезпека та/або інформаційна безпека мають за мету в тому числі і забезпечення цілісності цифрових зображень. Порушення цілісності цифрових зображень можна виконати багатьма методами: клонування, фотомонтаж, масштабування (збільшення або зменшення об'єкта) тощо. Виявленню масштабування присвячено ряд робіт, однак часто запропоновані рішення виявляються мало ефективними при масштабуванні-зменшенні або масштабуванні з коефіцієнтом, меншим одиниці. Мета даної роботи – виявлення масштабування цифрового зображення шляхом розробки метода, заснованого на аналізі високочастотних компонентів дискретного косинусного перетворення. Експериментально встановлено, що при зменшенні частини зображення високочастотні коефіцієнти дискретного косинусного перетворення збільшуються. Вдалося встановити порогове значення, що дозволило відділити зменшені частини цифрового зображення від оригінальних. На основі проведених досліджень розроблено метод виявлення масштабування, ефективність якого в термінах помилок 1 і 2 роду становить 7% і 14% відповідно. Розроблений метод є ефективним при зменшенні об'єктів не менш ніж втричі, а також при високій контрастності зменшуваних об'єктів. При зменшенні частини зображення вдвічі кількість помилок 1 роду зростає до 30%. Предметом подальших досліджень авторів є зменшення обмежень розробленого методу.

Ключові слова: масштабування, цифрове зображення, виявлення фото підробок, дискретне косинусне перетворення.

Вступ. Цифрові зображення часто піддаються обробці, або фальсифікації, і під час фальсифікації використовуються різні інструменти, в тому числі і масштабування.

Наразі вже існують різні методи для виявлення масштабування у цифрових зображеннях, проте вони мають певні обмеження [1-3]. Більшість методів виявляють масштабування у вигляді збільшення, в той час як виявлення зменшених частин, як правило, не вдається реалізувати існуючими методами, тому виявлення масштабування шляхом зменшення, або масштабування з коефіцієнтом, меншим одиниці, є актуальним питанням.

Масштабування зображення – це процес зміни розмірів цифрового зображення, який може включати в себе як збільшення (масштабування з коефіцієнтом більше 1), так і зменшення (масштабування з коефіцієнтом менше 1) його фізичних розмірів (або кількості пікселів), що впливає на його вид і якість.

Масштабування дозволяє адаптувати зображення до різних потреб і розмірів екранів, але також може використовуватись для обману або маніпуляції з цифровими зображеннями для неправильного представлення їх вмісту.

Мета роботи – виявлення масштабування цифрового зображення шляхом розробки метода, заснованого на аналізі високочастотних компонентів дискретного косинусного перетворення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити проблематику ідентифікації порушень цілісності цифрових зображень.
2. Оцінити, як масштабування впливає на характеристики та атрибути матриці цифрового зображення.
3. Розробити та програмно реалізувати метод виявлення масштабування з коефіцієнтом, меншим одиниці.
4. Оцінити ефективність і визначити обмеження розробленого методу.

Матеріали та методи. Зображення як сигнал складається з частот різного діапазону. Фоновим областям зображення відповідають головним чином низькі частоти, контурам різного ступеня контрастності відповідають головним чином середні і високі частоти.

Логічно припустити, що при зменшенні частини цифрового зображення збільшиться різниця між значеннями пікселів зменшеної області. Якщо це так, то мають збільшитись високочастотні коефіцієнти ДКП в відповідних блоках матриці.

Обчислимо дискретне косинусне перетворення для 8×8 -блоків обраної області матриці зображення (рис.1).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	576.7500	-221.4898	146.0283	-90.0186	40.7500	-15.1420	4.9978	-0.1347
2	-102.5911	162.4174	-100.6773	44.8774	-6.5681	-12.7274	13.3994	-5.9939
3	-3.1311	8.2400	-32.6044	47.6053	-44.1237	34.6854	-15.7730	1.2795
4	2.1149	-28.1613	24.9271	-19.0795	10.8731	1.1795	-13.7846	14.8166
5	13.2500	-10.0994	12.5629	-13.1780	18.7500	-25.8920	25.1033	-15.0524
6	-0.1971	2.7710	1.0964	-1.3708	1.7588	-3.1728	2.9017	-1.3372
7	-1.6796	-7.2074	6.2270	5.1210	-5.2654	-3.8878	3.1044	4.4537
8	-3.7477	6.4558	-4.1849	4.9033	-0.2069	-4.7102	0.1280	4.8349

Рис. 1. Матриця коефіцієнтів ДКП

Проаналізуємо збурення високочастотних коефіцієнтів. Усього високочастотних коефіцієнтів ДКП в блоці 8×8 буде дев'ять. Вони знаходяться у правому нижньому куті матриці ДКП.

Знайдемо середнє арифметичне значення для відповідних коефіцієнтів по всім блокам, що аналізуються. Отримаємо вектор з дев'яти значень для аналізованої області.

Не існує значущої різниці, яку колірну компоненту аналізувати в даному випадку, оскільки для кожної матриці R, G, B результати не будуть принципово відрізнятися.

Сформуємо базу з 200 зображень для проведення експерименту, які було взято на сайті Open Images Dataset, що є одним з загальноприйнятих для проведення експериментів з зображеннями [4].

Зображення відрізняються за розміром, при цьому всі вони збережені у форматі з втратами (JPEG) та мають коефіцієнт якості (Approx. quality factor) не менше 70%. Проведення масштабування-зменшення виконано за допомогою програми Adobe Photoshop 2022 наступним способом.

1. Під час завантаження ЦЗ встановити опцію профілю кольорів «Без змін» для збереження оригінальних кольорових налаштувань.
2. За допомогою інструмента «Виділення об'єктів» виділити потрібний об'єкт на зображенні для подальшого зменшення (рис. 2).

3. Створити копію об'єкта на новому шарі, використовуючи праву клавішу миші і опцію «Скопіювати на новий шар» (рис. 3).

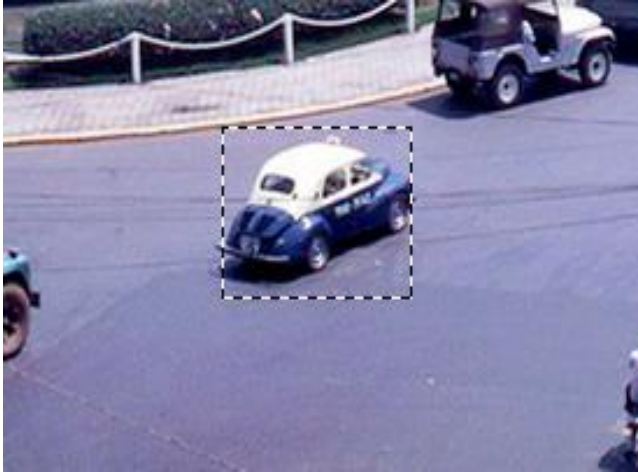


Рис. 2. Приклад виділення області для масштабування

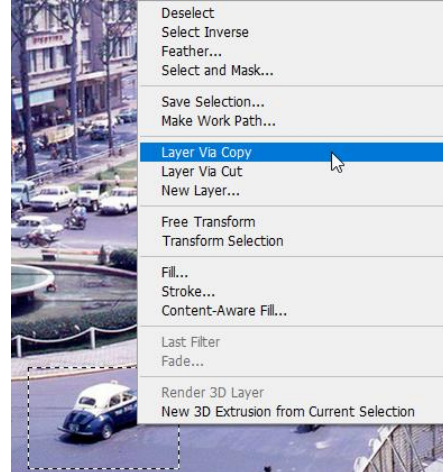


Рис. 3. Копіювання обраної області на новий шар

4. Повторно виділити вже скопійований об'єкт на основному зображенні.
5. Виконати заливку обраної області, користуючись опцією «Виконати заливку» у контекстному меню. Налаштування заливки включають в себе зміст (враховуючи зміст) та режим накладання (нормальний) (рис. 4).

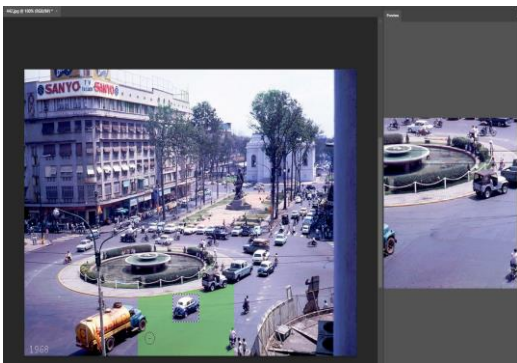


Рис. 4. Заливка області з врахуванням змісту



Рис. 5. Масштабування області за допомогою трансформації

Обрати шар з копією об'єкта та виконати масштабування за допомогою трансформації. Розмір об'єкта зменшуємо до 30%. Обраний графічний редактор дозволяє вибрати спосіб інтерполяції (бікубічна, білінійна тощо), як показано на рис. 5. Однак при проведенні обчислювального експерименту встановлено, що вид інтерполяції не впливає суттєво на результати.

6. Зберегти отримане зображення у форматі без втрат

Пункти 4-5 є критичними, оскільки для забезпечення стійкості візуального сприйняття масштабованого об'єкта на фоні оригінального зображення необхідно зробити виділену область подібною до фону на початковому зображенні. Інструмент «заливка» допомагає досягти цього ефекту. Параметри заливки можуть бути налаштовані вручну. В даній роботі проведено заливку з урахуванням змісту. Також необхідно звернути увагу на пункт 6, бо об'єкти у всіх зображеннях зменшуються саме до 30% (у 3.3 рази). Приклад зображення до та після обробки можна побачити на рис.6 та рис.7. На рис. 7 видно зменшення першої зліва мозаїки в 3 рази відносно оригіналу. Якщо не мати оригіналу, то практично неможливо візуально виявити фальсифікацію.

Результати та обговорення. Проаналізувавши 200 зображень з масштабуванням з коефіцієнтом, меншим одиниці, та без нього, можна побачити, що високочастотні коефіцієнти ДКП в блоках збільшуються по модулю. Типові результати можна побачити на рис. 8, 9, 10. Синім кольором позначений графік середнього значення високочастотних коефіцієнтів оригінального зображення, а червоним – зменшеної області зображення.



Рис. 6. Оригінальне зображення

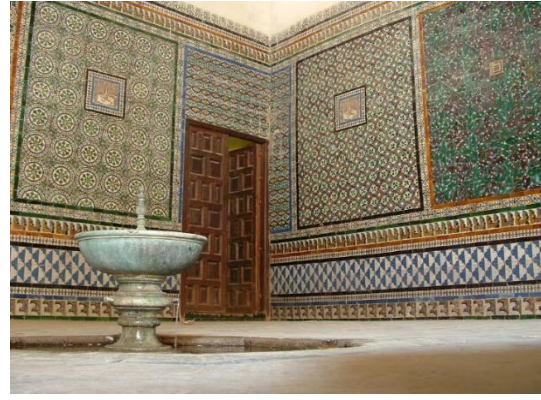


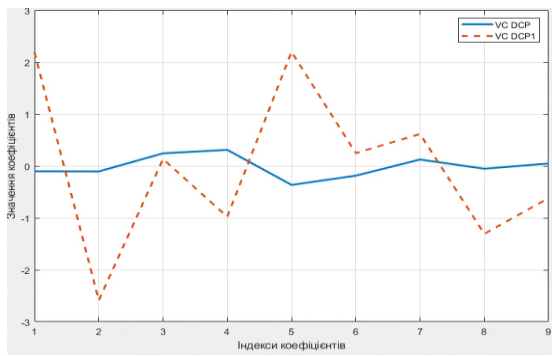
Рис. 7. Зображення з від'ємним масштабуванням

Експериментально встановлено, що для більшості зображень виділена область до масштабування мала високочастотні коефіцієнти по модулю менше двох, після масштабування – більше двох. На основі отриманих результатів розроблено метод виявлення масштабування з коефіцієнтом, меншим одиниці, заснований на аналізі високочастотних коефіцієнтів ДКП. Основні кроки даного методу наступні.

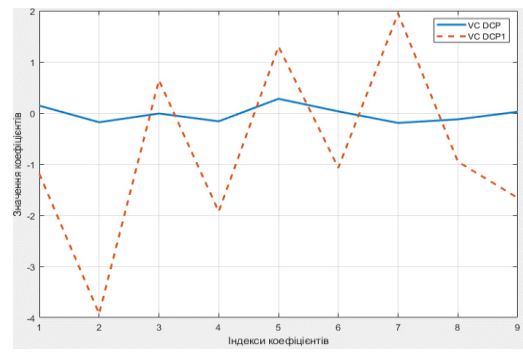
Нехай F – $m \times n$ -матриця цифрового зображення. Крок 1. Виділити в матриці F область, підозрювану на наявність масштабування. Крок 2. Обрізати, при необхідності, виділену область до розмірів кратних 8. Крок 3. Для виділеної області виконати розбиття стандартним чином на блоки 8×8 . Крок 4. Для кожного блоку побудувати ДКП. Крок 5. Виділити для кожного блоку серед коефіцієнтів ДКП тільки високочастотні. Крок 6. Знайти середні значення для кожного з дев'яти високочастотних коефіцієнтів ДКП в блоках, що знаходяться на відповідних місцях. Крок 7. Знайти найбільше по модулю значення серед отриманих на попередньому кроці усереднених коефіцієнтів ДКП – d_{max} . Крок 8. Порівняти найбільше значення з встановленим пороговим значенням «2»: якщо $d_{max} > 2$ – область містить від'ємне масштабування, інакше – не містить.

При встановленні даного порогового значення кількість помилок 1 роду складала 7%, другого роду 14%.

Також було проведено дослідження зі зменшенням вдвічі. При пороговому значенні 2 кількість помилок 1 роду зростає до 30%. Отже, метод є ефективнішим при масштабуванні з коефіцієнтом «0.3» і менше. Також було виявлено, що метод краще працює з об'єктами високої контрастності, ніж низької. Наприклад, на рис.11 можна побачити 2 медузи: ліворуч – медуза з низькою контрастністю, праворуч – з більш високою. При зменшенні лівої медузи, середні значення високочастотних коефіцієнтів ДКП не будуть суттєво збільшуватися через низьку контрастність, коли при зменшенні правої медузи (рис.12), можна побачити тенденцію збільшення середніх значень високочастотних коефіцієнтів ДКП (рис.13).



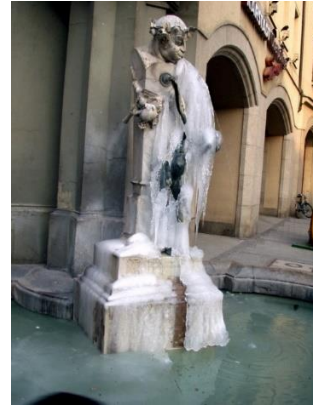
а



а



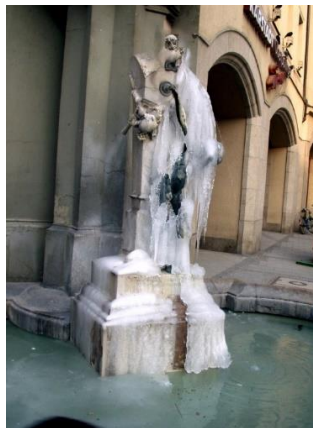
б



б



в

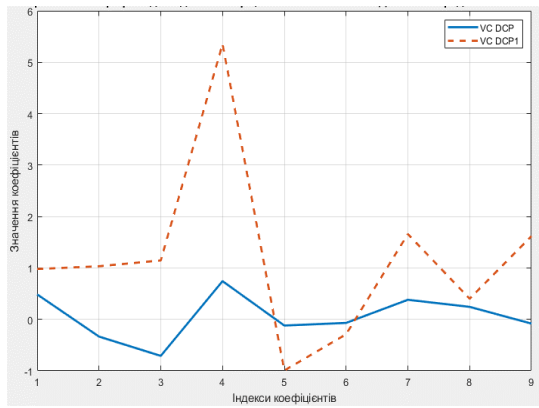


в

Рис. 8. Аналіз зображення №1

Рис. 9. Аналіз зображення №2

а – порівняльний графік усереднених коефіцієнтів високих частот ДКП до (синій колір) та після (червоний колір) масштабування; б – оригінальне ЦЗ; в – фальсифіковане ЦЗ



а



Рис. 11. Оригінальне зображення медуз



б



Рис. 12. Зображення зі зменшеною правою медузою



в

Рис. 10. Аналіз зображення №3: а – порівняльний графік усереднених коефіцієнтів високих частот ДКП до (синій колір) та після (червоний колір) масштабування; б – оригінальне ЦЗ; в – фальсифіковане ЦЗ

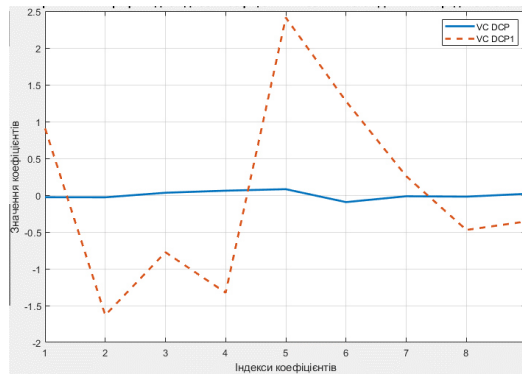


Рис. 13. Порівняльний графік середнього значення коефіцієнтів високих частот ДКП для зображення з медузами до та після фальсифікації

Проведені експерименти дозволили виявити обмеження розробленого методу. Дані обмеження є предметом подальших досліджень авторів статті.

Висновки. Проведено аналіз статей, присвячених виявленню масштабування як фальсифікації цифрового зображення. Встановлено, що масштабуванню з коефіцієнтом, меншим одиниці, присвячено мало уваги.

Проведено аналіз впливу масштабування з коефіцієнтом, меншим одиниці, на високочастотні коефіцієнти ДКП 8×8-блоків матриці цифрового зображення.

Результати дослідження показали, що шляхом аналізу високочастотних коефіцієнтів обраної зони цифрового зображення можна ефективно відрізнити модифіковані частини зображення від оригінальних.

За підсумками одержаних результатів був створений метод виявлення масштабування з коефіцієнтом, меншим одиниці, заснований на аналізі високочастотних компонентів ДКП блоків матриці цифрового зображення.

Ефективність розробленого методу в термінах помилок 1 і 2 роду становить 7% і 14% відповідно.

Список літератури

1. Трифонова К.О., Кілін О. Є.. Метод локалізації та ідентифікації контекстно-залежного масштабування в цифровому зображенні. URL: <http://www.tkea.com.ua/siet/archive/2014-t1/117.pdf>
2. Гулич В.В., Зоріло В.В., Лебедева О.Ю. Виявлення частин цифрового зображення, зменшених після фальсифікації. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2022. Том 12. № 1-2. С.46-53.
3. Берія Д.Ю., Войтовецька М.Є., Козаченко Н.Г., Зоріло В.В., Лебедева О.Ю. Виявлення порушень цілісності цифрових зображень в контексті цифрової криміналістики. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2021.Т.11. №3. С. 190-199.
4. Open Images Dataset V7. URL: <https://storage.googleapis.com/openimages/web/visualizer/index.html>

DEVELOPMENT OF THE DIGITAL IMAGE SCALING DETECTION METHOD

V.V. Zorilo, E.V. Timofeiev, O.Y. Lebedieva

National Odesa Polytechnic University
1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine
email: v.v.zorilo@op.edu.ua

Detection of digital image forgeries in open sources has garnered significant attention. This is attributed to the proliferation of mobile photo and video technology, the accessibility and multifunctionality of graphic editors, as well as the rise in cybercrime. Cybersecurity and/or information security aim, among other things, to ensure the integrity of digital images. Violations of the integrity of digital images can be carried out through various methods such as cloning, photo manipulation, scaling (enlarging or reducing objects), etc. Scaling detection has been the subject of several works, but often the proposed solutions prove to be ineffective for scaling down or scaling with a coefficient less than one. The goal of this work is to detect scaling of digital images by developing a method based on the analysis of high-frequency components of discrete cosine transformation. Experimental findings indicate that when a portion of the image is reduced, the high-frequency coefficients of the discrete cosine transformation increase. A threshold value was successfully established, allowing the separation of scaled portions of the digital image from the original ones. Based on the conducted research, a scaling detection method was developed, with an error rate of 7% and 14% for types 1 and 2 errors, respectively. The developed method proves effective for scaling objects by at least threefold and high-contrast scaled objects. However, when reducing a portion of the image by half, the error rate for type 1 errors increases to 30%. Further research by the authors aims to reduce the limitations of the developed method.

Keywords: scaling, digital imaging, photo detection, discrete cosine transformation.