

**ВИЯВЛЕННЯ МУЛЬТИПЛІКАТИВНОГО ШУМУ В ЦИФРОВИХ
ЗОБРАЖЕННЯХ В УМОВАХ ЗБЕРЕЖЕННЯ З ВТРАТАМИ**

К.О.Петрук, В.В.Зоріло, О.Ю.Лебедева

Національний університет «Одеська політехніка»
пр.Шевченка, 1, Одеса, 65044
email: vikazorilo@gmail.com

Методи виявлення порушень цілісності цифрової інформації (цифрових фото-, відео-, та аудіо-файлів) відіграють важливу роль для інформаційної та кібербезпеки. Серед порушень цілісності цифрових зображень окремою категорією можна виділити постобробку після можливої фальсифікації через клонування або фотомонтаж. Постобробка може виконуватись різними інструментами: розмиття, підвищення різкості, мультиплікативний шум тощо. Методи виявлення мультиплікативного шуму мало освітлені у відкритих джерелах. Існує метод, заснований на аналізі коефіцієнтів ДКП матриці цифрового зображення, який добре зарекомендував себе при збереженні оброблених файлів без втрат. Однак його не було перевірено при збереженні у форматі з втратами. Мета роботи – підвищення ефективності виявлення мультиплікативного шуму як обробки цифрового зображення. Обчислювальний експеримент проведено з використанням бази із 100 зображень, кожне з яких було піддано обробці мультиплікативним шумом з дисперсією 0,005 і збережено в jpeg у якості від 0 до 100 з кроком 5. Було знайдено різницю максимального та мінімального значення високих частот (амплітуду) двома різними способами і визначено два показники. Встановлено, що точність виявлення мультиплікативного шуму залежить від ступеня стиснення з втратами. Точність виявлення шуму сильно знижується, коли коефіцієнт стиснення встановлено нижче 70. Показник П1 підходить для виявлення мультиплікативного шуму у зображеннях з якістю від 98 до 100 і від 70 до 89, П2 – для зображень з якістю від 89 до 97. Проведені дослідження дозволили значно підвищити ефективність виявлення мультиплікативного шуму як порушення цілісності цифрового зображення.

Ключові слова: мультиплікативний шум, дискретне косинусне перетворення, порушення цілісності цифрового зображення.

Вступ. Мультиплікативний шум – це постобробка, яка може бути використана для приховання фальсифікації зображення або порушення стеганографічного повідомлення. Не завжди мультиплікативний шум може бути помітним візуально (рис. 1), особливо якщо зображення було збережено з втратами, наприклад, у форматі JPEG. Тому важливо знайти спосіб, який допоможе визначити наявність мультиплікативного шуму у зображенні.

Мета роботи – підвищення ефективності виявлення мультиплікативного шуму як обробки цифрового зображення.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні задачі.

1. Дослідити сучасні методи виявлення пост обробки цифрового зображення при його фальсифікації.
2. Обрати метод виявлення мультиплікативного шуму для дослідження його ефективності в умовах збереження зображення після пост обробки у форматі з втратами.

3. Виконати модифікацію алгоритму метода, взятого за основу, та реалізувати його у програмному додатку.
4. Оцінити ефективність модифікованого алгоритму.

Матеріали та методи. Існує декілька способів визначення наявності постобробки у зображенні, серед яких – метод, заснований на аналізі сингулярних чисел матриці зображення (виявлення розмиття, штучного підвищення різкості) [1], і метод, заснований на аналізі коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення (виявлення розмиття, мультиплікативного шуму в умовах збереження після обробки без втрат) [2].

Дискретне косинусне перетворення (ДКП) – це ортогональне перетворення, яке використовується, зокрема, в обробці сигналів та стисненні з втратами і засноване на перетворенні Фур'є [3]. На ньому базується найпопулярніший формат стиску з втратами – JPEG. Перевага даного формату в тому, що він дозволяє зменшити займаний файлом на диску простір для зберігання і його підтримують майже усі графічні програми і веб-браузери, тому його часто використовують в соціальних мережах [4].

Стиснення зображення відбувається за такими кроками:

1. Матриця зображення ділиться на блоки 8×8 .
2. Для кожного блока зображення застосовується ДКП за формулою

$$DCT(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i) C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \text{pixel}(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N} \right]$$

За допомогою формули ДКП здійснюється перехід з просторової області у частотну. Тобто кожен блок зображення представляється у вигляді матриці 8×8 , де зверху зліва знаходяться низькі частоти, які відповідають за фоніві елементи зображення, а знизу справа – високі частоти, які відповідають за контури (рис. 2).

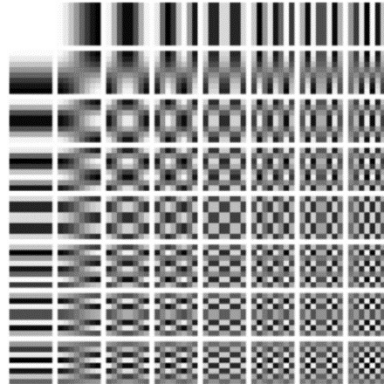


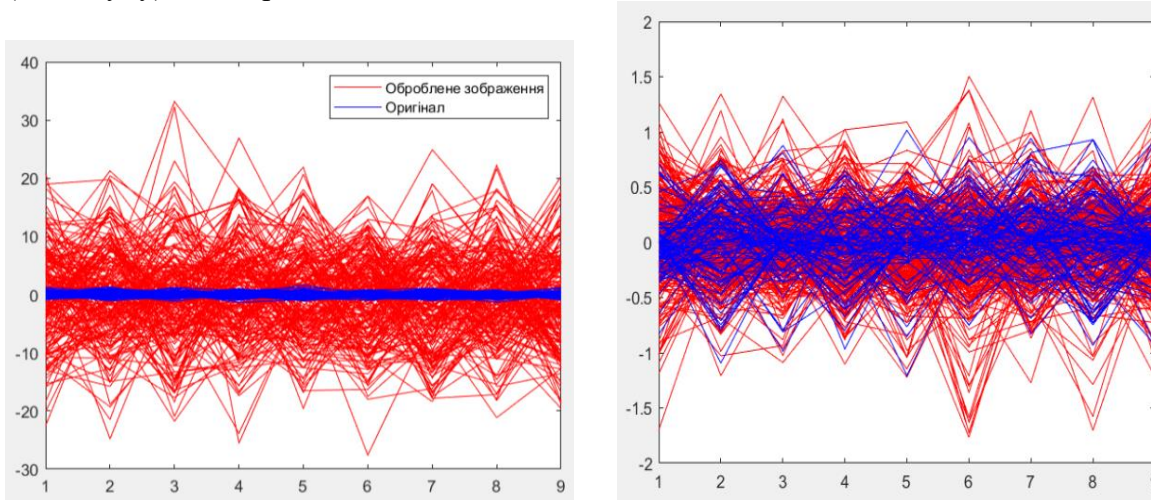
Рис. 1. Блок частотної області ДКП

3. Елементи блоків ділять на матрицю квантування та округлюють до найменшого цілого. У результаті високі частоти можуть обнулитися, тому на контурах можуть виникнути артефакти.
4. Отримана матриця записується у масив зігзагом зліва направо зверху вниз. Останні нулі не записуються, тому масив займає менше біт.

Результати та обговорення. Після додавання на зображення мультиплікативного шуму збільшується амплітуда коефіцієнтів високих частот ДКП (рис. 3). Метод виявлення мультиплікативного шуму на основі коефіцієнтів ДКП полягає у тому, що виявляється таке порогове значення, яке дозволяє відрізнити оброблене зображення від необробленого. На рисунку видно, що необроблені зображення

мають набагато меншу амплітуду, ніж оброблені. Але так як JPEG стиснення впливає на високі частоти, у разі збереження в гіршій якості амплітуда буде відрізнятися набагато менше (рис. 5), отже, відрізнити оброблене зображення від необробленого буде складніше.

Обчислювальний експеримент проведено з використанням бази із 100 зображень, кожне з яких було піддано обробці мультиплікативним шумом з дисперсією 0,005 і збережено в jpeg у якості від 0 до 100 з кроком 5. Було знайдено різницю максимального та мінімального значення високих частот (амплітуду) двома різними способами і визначено два показники.



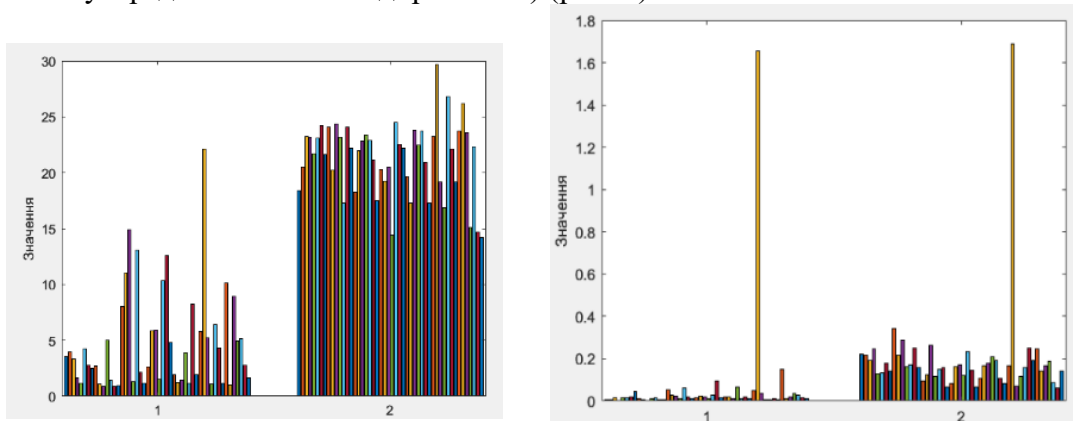
а.

б.

Рис. 2. Порівняння коефіцієнтів високих частот ДКП обробленого і необробленого зображень, що збережені у форматі JPEG у якості 100 (а) та 70(б)

Показник 1 – різниця між найбільшим і найменшим значенням усереднених коефіцієнтів високих частот блоків матриці цифрового зображення (кількість усереднених значень дорівнює кількості блоків матриці) (рис. 6).

Показник 2 – різниця між найбільшим і найменшим усередненим по матриці значенням високочастотного коефіцієнта з відповідними індексами (кількість усереднених значень дорівнює 9) (рис. 6).



а.

б.

Рис. 3 – Порівняння зображень без мультиплікативного шуму (1) і з мультиплікативним шумом (2), де П1– а, П2– б.

Далі було проаналізовано П1 для зображень у різній якості. На графіку (рис. 4) відображено, як змінюються середні значення Показника 1 в залежності від якості збереження зображення. По осі абсцис відкладено значення якості, по осі ординат – П1.

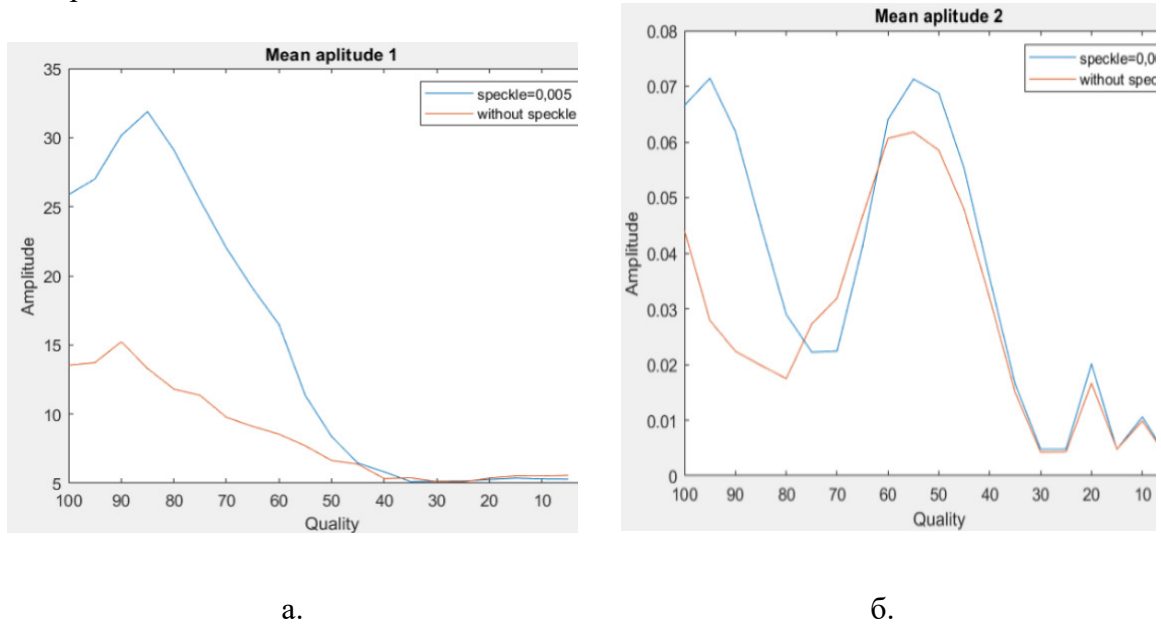


Рис.4. Середні значення П1(а) та П2 (б) для зображень у різній якості

Видно, що після деякого значення якості графіки наближуються один до одного. Те саме можемо спостерігати і для П2 (рис. 8).

Отже, видно, що після деякого значення якості стає неможливим відрізнити показники обробленого і необробленого зображень.

Експериментальним шляхом було визначено порогові коефіцієнти і їх точність (ACC) за формулою:

$$ACC=(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN),$$

де TP – істинно позитивні результати;

TN – істинно негативні результати;

FP – помилки II роду, тобто хибно позитивні результати;

FN – помилки I роду, тобто хибно негативні результати.

Було отримано графік (рис. 9), на якому порівнюються значення точності П1 і П2. Видно, що точність П1 різко падає для зображень із якістю менше 70, а точність П2 падає для зображень із якістю менше 90. Тому подальші розрахунки були зроблені для зображень із якістю від 70 до 100.

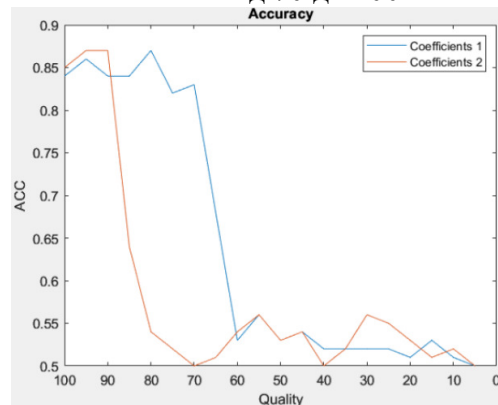


Рис. 5. ACC порогових значень для зображень у різній якості

Проаналізовано 100 зображень, для яких визначено пороговий коефіцієнт, який має найбільшу точність виявлення мультиплікативного шуму. Для значення мультиплікативного шуму 0,005 були отримані результати, що представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Порогові значення показників при $imnoise = 0.005$

Якість	100	95	90	85	80	75	70
П1	16.5524	17.698	19.4205	19.9238	10.615	11.502	2.9000
ACC1	0.7850	0.7950	0.7900	0.7950	0.7550	0.7700	0.6150
Помилки 2 роду	0.2150	0.2050	0.2100	0.2000	0.2450	0.2300	0.3850
Помилки 1 роду	0	0	0	0.0050	0	0	0
П2	0.0180	0.0158	0.0133	0.0087	0.0092	0.0051	0.0000
ACC2	0.7900	0.8100	0.8250	0.5950	0.5400	0.5100	0.5000
Помилки 2 роду	0.2150	0.1900	0.1750	0.4100	0.4600	0.4950	0.5000
Помилки 1 роду	0.0100	0.0050	0	0	0.0100	0	0

Можна побачити, що спочатку П2 з більшою точністю виявляє шум, але після значення якості 90 точність П1 збільшується, а П2 падає. Можна зробити висновок, що для різних значень якості краще підходить різний спосіб пошуку показників.

Коефіцієнт П1 підходить для виявлення мультиплікативного шуму у зображеннях з якістю від 98 до 100 і від 70 до 89, П2 – для зображень з якістю від 89 до 97. Отримані такі порогові коефіцієнти П1: 16.5524 для якості 100, 17.6982 для 95, 19.4205 для 90, 19.4205 для якості 85, 10.6152 для якості 80, 11.5025 для якості 75, 2.9 для якості 70. Порогові коефіцієнти П2 дорівнюють 0.0180 для якості 100, 0.0158 для 95, 0.0133 для 90, 0.0087 для 85, 0.0092 для 80, 0.0051 для 75.

Найбільша точність досягається при П2 для якості 90-95, при цьому помилки 2 роду становлять 19% і 17.5% відповідно, а помилки 1 роду – 0.5% і 0% відповідно, а також з П1 для якості 100 і 85 помилки 2 роду становлять 21.5% і 20%, а помилки 1 роду – 0 і 0.5% відповідно (рис. 6).

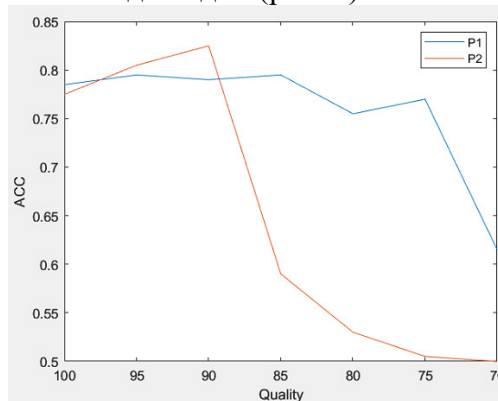


Рис.6. Порівняння точності порогових коефіцієнтів

Висновки. Досліджено вплив стиснення JPEG на виявлення мультиплікативного шуму в зображеннях методом, заснованим на аналізі високих частот ДКП: для зображень, що зберігаються з якістю від 70 до 100, були отримані порогові коефіцієнти, що дозволяють відділити оброблені зображення від необроблених. Порогові коефіцієнти були розраховані двома різними способами (П1 і П2) на основі бази із 100 зображень.

Встановлено, що точність виявлення мультиплікативного шуму залежить від ступеня стиснення з втратами. Точність виявлення шуму сильно знижується, коли коефіцієнт стиснення встановлено нижче 70.

Показник П1 підходить для виявлення мультиплікативного шуму у зображеннях з якістю від 98 до 100 і від 70 до 89, П2 – для зображень з якістю від 89 до 97. Отримані такі порогові коефіцієнти П1: 16.5524 для якості 100, 17.6982 для 95, 19.4205 для 90, 19.4205 для якості 85, 10.6152 для якості 80, 11.5025 для якості 75, 2.9 для якості 70. Порогові коефіцієнти П2 дорівнюють 0.0180 для якості 100, 0.0158 для 95, 0.0133 для 90, 0.0087 для 85, 0.0092 для 80, 0.0051 для 75.

Найбільша точність досягається з П2 для якості 90-95, при цьому помилки 2 роду становлять 19% і 17.5%, а помилки 1 роду – 0.5% і 0%, а також з П1 для якості 100 і 85, помилки 2 роду становлять 21.5% і 20%, а помилки 1 роду – 0 і 0.5% відповідно.

Список літератури

1. Розумяк Б.О., Зоріло В.В. Дослідження деяких розкладань і перетворень матриці цифрового зображення як основа метода виявлення мультиплікативного шуму. Одеса: НУОП, 2022.
2. Зоріло В.В., Корольова Є.О., Розумяк Б.О. Метод виявлення розмиття та мультиплікативного шуму як обробки цифрового зображення на основі аналізу коефіцієнтів ДКП. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2022. №3-4. С.23-31.
3. Discrete cosine transform. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_cosine_transform
4. Discrete cosine transform. URL: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/dct.html>
5. JPEG. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG>

DETECTION OF MULTIPLICATIVE NOISE IN DIGITAL IMAGES UNDER LOSSY STORAGE CONDITIONS

K.O.Petruk, V.V.Zorilo, O.Yu.Lebedeva

National Odesa Polytechnic University
Shevchenko Ave., 1, Odesa, 65044, Ukraine
email: vikazarilo@gmail.com

Methods of detecting violations of the integrity of digital information (digital photo, video, and audio files) play an important role for information and cyber security. Among the violations of the integrity of digital images, post-processing after possible falsification through cloning or photomontage can be singled out as a separate category. Post-processing can be done with various tools: blurring, sharpening, multiplicative noise, etc. The methods of detecting multiplicative noise are poorly illuminated in open sources. There is a method based on the analysis of the DCP coefficients of the digital image matrix, which has proven itself well when saving processed files without loss. However, it has not been tested when saved in a lossy format. The purpose of the work is to increase the effectiveness of multiplicative noise detection as a digital image processing. The computational experiment was carried out using a database of 100 images, each of which was subjected to multiplicative noise processing with a variance of 0.005 and saved in jpeg as a quality from 0 to 100 with a step of 5. The difference between the maximum and minimum value of high frequencies (amplitude) was found in two different ways and two indicators are defined. It was established that the accuracy of multiplicative noise detection depends on the degree of lossy compression. The accuracy of noise detection is greatly reduced when the compression ratio is set below 70. The P1 indicator is suitable for detecting multiplicative noise in images with quality from 98 to 100 and from 70 to 89, P2 - for images with quality from 89 to 97. The conducted research allowed to significantly improve the effectiveness of detecting multiplicative noise as a violation of the integrity of a digital image.

Keywords: multiplicative noise, discrete cosine transformation, violation of digital image integrity.