

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ РОЗМИТТЯ ТА МУЛЬТИПЛІКАТИВНОГО ШУМУ
ЯК ОБРОБКИ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ
КОЕФІЦІЄНТІВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

Є.О. Корольова, Б.О. Розумяк, В.В. Зоріло, О.Ю. Лебедева, Д.А. Маєвський

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

Очевидним є той факт, що без інформаційної безпеки не може бути ніякої безпеки. Перебування в тому чи іншому інформаційному просторі змінює свідомість, змушує людей чинити злочини різного ступеня тяжкості, або виправдовувати ті підтримувати злочинців. Важливим інструментом в порушенні інформаційної безпеки є пропаганда, яка не гребує ніякими методами для досягнення мети, в тому числі використовує підробці фото-, відео- та аудіо-файли для здійснення інформаційно-психологічного впливу на суспільство. Методи боротьби з подібними випадками носять всебічний, комплексний характер. Поміж них важливу роль посідають методи встановлення істинності цифрового контенту або доведення того, що та чи інша інформація є фейком. При підробці цифрових файлів, зокрема, цифрових зображень, часто використовують методи пост обробки, такі як розмиття, мультиплікативний шум тощо. Виявлення даних видів пост обробки наразі не є вирішеною задачею, хоч і має певні успіхи. Метою цієї роботи є підвищення ефективності виявлення обробки цифрового зображення шляхом розробки методу виявлення розмиття та методу виявлення мультиплікативного шуму. Проведено обчислювальний експеримент, в результаті якого встановлено, що зручним та ефективним інструментом для виявлення розмиття за Гаусом та мультиплікативного шуму є дискретне косинусне перетворення. Розмиття зменшує значення високочастотних коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення, в той час коли мультиплікативний шум їх збільшує. При цьому необроблене зображення має високочастотні коефіцієнти в межах певної норми. В роботі вдалося виділити порогові значення, що дозволяють зафіксувати відхилення від норми в той чи інший бік, на основі чого розроблено метод виявлення розмиття та метод виявлення мультиплікативного шуму, засновані на аналізі високочастотних коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення

Ключові слова: інформаційна безпека, цифрова криміналістика, цифрові зображення, розмиття, мультиплікативний шум.

Сучасний світ – це світ технологій, в тому числі інформаційних і цифрових. Захищеність інформаційного простору суспільства є показником безпеки не лише психологічної, соціальної, а й фізичної. Захист інформації від порушень цілісності посідає важливе місце в комплексних системах захисту інформації та в цифровій криміналістиці. Важливо розуміти, що розвиток технологій, засобами яких можна здійснити порушення цілісності інформації, сягнув такого рівня, коли й непрофесійні користувачі здатні виконати те чи інше спотворення інформаційного файлу.

Важливе місце для сучасної людини виконує цифрова фотографія. Ми передаємо через цифрові фото безліч важливої інформації: тексти, зображення сцен, предметів, людей, подій. Часто зображення використовують для документування чогось важливого: речових доказів, порушень правил дорожнього руху, важливих історичних подій та осіб тощо. В таких випадках фальсифікація цифрових зображень може мати небажані наслідки для системи інформаційної безпеки. Найпоширеніші види підробки та обробки цифрових

зображень: накладання шуму (Гаусів, мультиплікативний, сіль-перець); розмиття; підвищення різкості; клонування; фотомонтаж.

Методи виявлення підробок цифрових зображень можна розділити на дві групи: активні і пасивні методи виявлення порушень цілісності цифрових зображень.

Для активної ідентифікації підробок потрібні попередньо витягнуті або вбудовані дані. Умовно методи, які використовуються для активного захисту медіа, можна поділити на два види: методи на основі цифрового підпису і методи на основі цифрових водяних знаків [1-2]. Активні методи мають спільний основний недолік – вони мають бути застосовані до того, як зображення буде піддано порушенням цілісності різного роду. Щоб подолати цей недолік, існує багато методів пасивного захисту.

Пасивні методи використовують безпосередньо зображення для перевірки його цілісності [3]. Фальсифікація може порушити базову статистичну властивість через неузгодженість шуму, розмиття зображення, підвищення різкості зображення [4], копіювання-переміщення (клонування) або фотомонтаж [5] та домальовування об'єктів на зображенні засобами графічних редакторів [6].

Методи, направлені на виявлення цих підробок, часто використовують особливості якоїсь конкретної обробки і не є універсальними.

Метою цієї роботи є підвищення ефективності виявлення обробки цифрового зображення шляхом розробки методу виявлення розмиття та методу виявлення мультиплікативного шуму.

На сьогодні один із найефективніших методів виявлення розмиття цифрового зображення заснований на аналізі швидкості росту сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення [7]. Один із кроків метода – додаткова перевірка експертним розмиттям, що потребує виконання експертом попередніх маніпуляцій над зображенням. Це вносить певні незручності в процес експертизи, тому актуальним лишається пошук нових інструментів для вирішення даної задачі.

В даній статті розглянуто вплив розмиття на власні значення і на коефіцієнти дискретного косинусного перетворення блоків матриці цифрового зображення. Цифрові зображення, як і будь-який сигнал, можна розкласти на високі, середні та низькі частоти. Низьким частотам головним чином відповідають фонові частини зображення, а високим частотам – контури. Оскільки розмиття впливає на високі частоти, а саме зменшує їх, було прийняте рішення аналізувати тільки ті власні значення, що відповідають високим частотам, оскільки в ранніх публікаціях було встановлено відповідність найменших власних значень саме високим частотам.

Для експерименту сформуємо базу з 100 зображень формату без втрат (tif) та 100 зображень у форматі з втратами (jpg). Розмиття будемо виконувати у графічному редакторі Adobe Photoshop засобами фільтру «Розмиття за Гаусом» з радіусом 1 піксель. Після обробки всі зображення збережено у форматі без втрат. При такому значенні радіуса розмиття візуально не помітно, що можна побачити на рисунку 1. Побудувавши графік середніх значень перших 5 власних значень по всім блокам ЦЗ для 100 оригінальних і 100 розмитих зображень у форматі JPG, було виявлено, що саме перші 4 власні значення зазнали значного зменшення при розмитті, що підтверджує цю відповідність (рисунок 2).



Рис. 1. Приклад розмитого зображення з радіусом розмиття 1 піксель

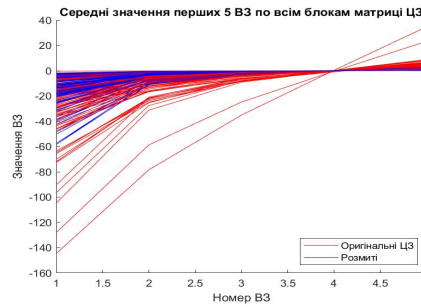


Рис. 2. Графік середніх значень п'яти найменших власних значень по всім блокам ЦЗ

Експеримент показав, що, використовуючи власні значення, знайти поріг для відокремлення оброблених зображень від необроблених вкрай важко або неможливо так, щоб цей метод був ефективніший за його аналог на основі використання сингулярного розкладання. Використання власних значень дало велику кількість помилок другого роду.

Проаналізуємо вплив розмиття на високочастотні коефіцієнти ДКП, які знаходяться в правому нижньому куті квадратної матриці. Матрицю зображення розіб'ємо стандартним чином на блоки 8×8 . Для кожного блоку застосуємо ДКП та виділимо коефіцієнти, що відповідають високим частотам (9 коефіцієнтів в нижньому правому куті). Знайдемо середнє арифметичне значення для відповідних коефіцієнтів по всім блокам цифрового зображення, в результаті чого отримаємо 9 значень, які поставимо у відповідність цифровому зображенню. На рисунках 2 та 4 можемо бачити отримані результати для зображень без втрат і з втратами відповідно. Кожний графік відповідає одному зображенню та є інтерполяційним сплайном для 9 усереднених високочастотних коефіцієнтів ДКП.

Згідно результатів, отриманих при аналізі коефіцієнтів ДКП до та після розмиття (червоний та синій колір відповідно), можна зробити висновок, що зменшення високочастотних коефіцієнтів ДКП при розмитті ЦЗ у форматі з втратами, буде менше, ніж у випадку аналізу ЦЗ, збереженого без втрат. Це відбувається за рахунок того, що, при збереженні ЦЗ у форматі із втратами абсолютні значення високочастотних коефіцієнтів ДКП зменшуються як результат стиснення. Тому пошук порогового значення для зображень з втратами може бути складнішим, ніж для зображень без втрат, але можливим.

Отримавши графіки середніх значень високочастотних коефіцієнтів ДКП, було вирішено обрати амплітуду графіка, як основну характеристику ЦЗ при розробці методу виявлення розмиття.

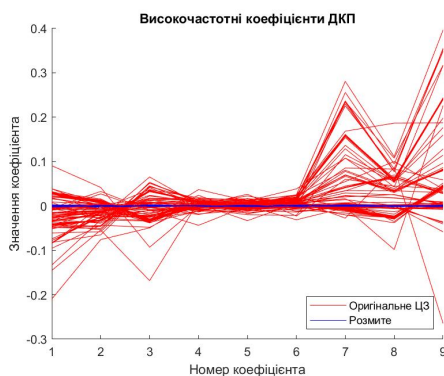


Рис. 3. Графіки середніх значень ДКП по всім блокам матриці ЦЗ для зображень у форматі TIFF

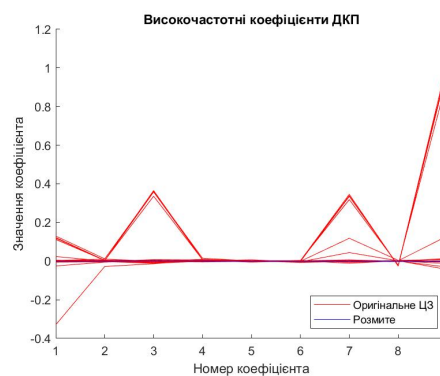


Рис.4. Графік середніх значень ДКП по всім блокам матриці ЦЗ для зображень у форматі JPG

Було проведено аналіз амплітуд графіків середніх значень високочастотних ДКП по всіх блоках матриці ЦЗ. За допомогою цього аналізу було встановлено, що, використовуючи високочастотні коефіцієнти ДКП можна виявити розмиття ЦЗ. Але, якщо в зображенні була значна доля фонові частини, ефективність такого метода зменшується за рахунок помилок другого роду.

Для покращення результатів було проаналізовано середню амплітуду графіків високочастотних коефіцієнтів ДКП по всіх блоках, а також блок з максимальною амплітудою графіку високочастотних коефіцієнтів ДКП. Останнє дало кращий результат та дозволило ефективно виявляти розмиття незалежно від долі фонові частини зображення.

Всі експерименти проведено над зображеннями у колірній моделі RGB, в контексті вирішуваної задачі немає різниці, яку колірну компоненту аналізувати, адже для матриць R, G, B результати обробки будуть якісно однакові. Також незначно вплине на результат переведення зображення в полу тонове, що і було виконано.

Знайдемо порогове значення для виявлення розмитих зображень. При використанні амплітуди середніх значень високочастотних коефіцієнтів ДКП по всіх блоках було побудовано гістограми для 100 зображень у форматі TIFF до та після розмиття (рисунок 5 і 6 відповідно).

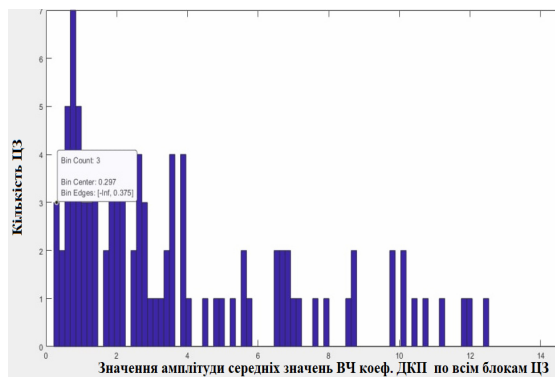


Рис. 5. Гістограма амплітуд середніх значень високочастотних коефіцієнтів ДКП по всіх блоках оригінальних ЦЗ у форматі TIFF

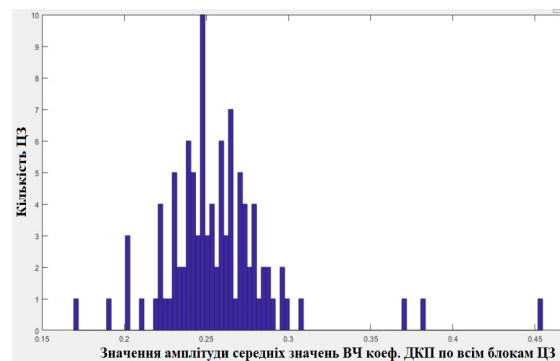


Рис. 6. Гістограма амплітуд середніх значень високочастотних коефіцієнтів ДКП по всіх блоках розмитих ЦЗ у форматі TIFF

Виходячи з результатів, отриманих при побудові гістограм, можна бачити, що є деяке розмежування значень амплітуд. Експериментально встановлено, що використання в якості порогового значення «0.3» дає змогу у більшості випадків встановити, чи є зображення обробленим. Помилки першого роду склали 4%.

Але, як вже було зазначено, коли в зображенні значна доля фонові частини або якщо воно містить багато неосвітлених чи, навпаки, засвічених зон, висока ймовірність виникнення хибної тривоги (рисунок 7, 8). Враховуючи значення порогу, метод визначив дане зображення як розмите через його недоліки.

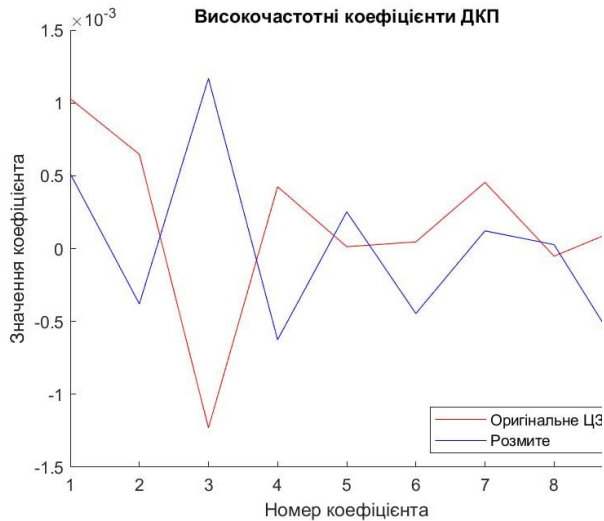


Рис. 7. Графік середніх значень високочастотних коефіцієнтів ДКП



Рис. 8. Приклад ЦЗ зі значною долею фонові частини

Знайдемо максимальну амплітуду для кожного оригінального та розмитого зображення та побудуємо гістограми (рисунки 9-12).

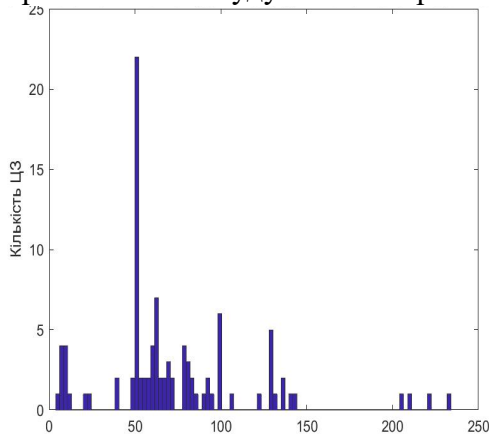


Рис. 9. Гістограма значень блоку з максимальною амплітудою високочастотних коефіцієнтів ДКП для оригінального ЦЗ в форматі JPG

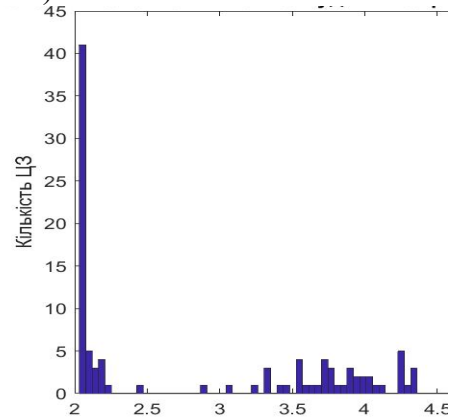


Рис.10. Гістограма значень блоку з максимальною амплітудою високочастотних коефіцієнтів ДКП для розмитого ЦЗ в форматі JPG

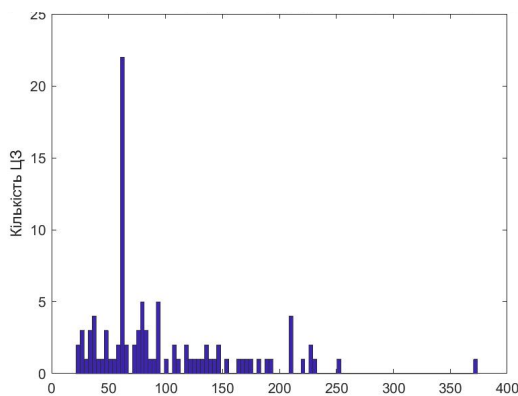


Рис. 11. Гістограма значень максимальних амплітуд високочастотних коефіцієнтів ДКП по всім блокам оригінальних ЦЗ в форматі TIFF

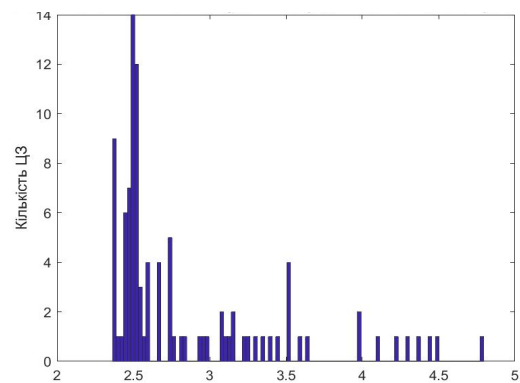


Рис.12. Гістограма значень блоку з максимальною амплітудою високочастотних коефіцієнтів ДКП для розмитого ЦЗ в форматі TIFF

Експериментально встановлено, що при пороговому значенні «5» вдається досягти високої ефективності метода. Як і очікувалось, зображення форматів TIFF та JPG дали різні результати, але це незначно вплинуло на кінцевий результат. Для обох форматів запропонований поріг дав найкращий результат.

Нехай A – $m \times n$ -матриця цифрового зображення. Алгоритм розробленого метода виявлення розмиття ЦЗ складається з наступних кроків.

Крок 1. Розбити матрицю A стандартним чином на блоки 8×8 .

Крок 2. Знайти для кожного блоку коефіцієнти ДКП.

Крок 3. Виділити високочастотні коефіцієнти, які знаходяться під побічною діагоналлю.

Крок 4. Знайти амплітуду графіка високочастотних коефіцієнтів ДКП кожного блоку.

Крок 5. Знайти блок з максимальним значенням амплітуди серед всіх блоків ЦЗ.

Крок 8. Порівняти значення максимальної амплітуди із пороговим значенням «5»:

Якщо амплітуда нижче порога – ЦЗ розмите, *інакше* – не розмите.

Згідно отриманих даних було виявлено, що аналізуючи власні значення матриці ЦЗ важко виявити розмиття зображення, не маючи оригінальне ЦЗ, або без проведення експертного розмиття. Також, на основі результатів, був розроблений метод виявлення розмиття цифрових зображень на основі аналізу високочастотних коефіцієнтів ДКП.

Розроблений метод дозволяє з високою ймовірністю вірно виявити розмиття ЦЗ. Для порогового значення «5» кількість помилок першого та другого роду для ЦЗ формату JPG – 1%. Для зображень формату TIFF помилок першого та другого роду не було виявлено.

Протилежний ефект на високочастотні коефіцієнти викликає накладання на зображення мультиплікативного шуму. Даний вид обробки також часто застосовується до зображень під час приховання слідів їх підробки. Високочастотні коефіцієнти реагують на мультиплікативний шум збільшенням. Даний ефект також можна спостерігати і при аналізі власних і сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення, однак високі значення найменших сингулярних або власних значень може свідчити як про наявність мультиплікативного шуму, так і про високу якість цифрового зображення та велику кількість чітких контурів, тому кількість помилок 2 роду або хибних тривог може складати більше 30%. Розглянемо, як будуть змінюватись усереднені значення високочастотних коефіцієнтів під впливом мультиплікативного шуму (рис. 13)

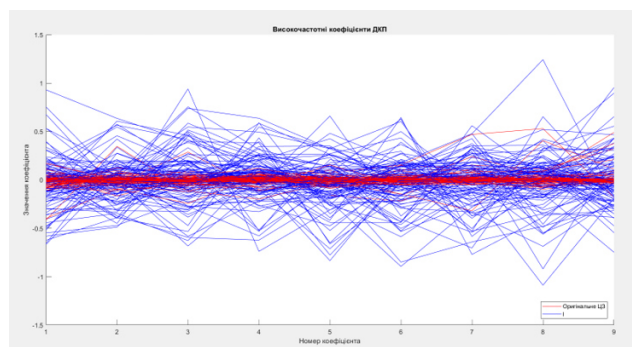


Рис.13. Середні значення високочастотних коефіцієнтів ДКП оригінальних (червоні лінії) та збурених зображень (сині лінії)

Експеримент показав, що при застосуванні мультиплікативного шуму аналізовані коефіцієнти ДКП змінюються настільки, що стає можливим відділити оброблені зображення від необроблених. Знайдемо порогове значення для відокремлення оброблених зображень від необроблених на основі отриманих під час експерименту результатів.

На рисунку 14 зображено гістограму амплітуд середніх значень високих частот блоку 8×8 для оригінальних зображень, на рисунку 15 – зображено гістограму амплітуд середніх значень високих частот для блоку 8×8 зашумлених зображень з параметром дисперсії 0,01.

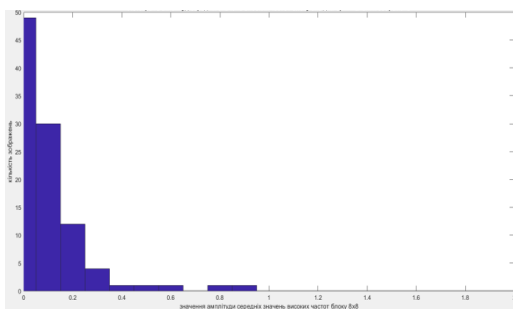


Рис.14. Гістограма амплітуд середніх значень високих частот для блоку 8×8 оригінальних зображень

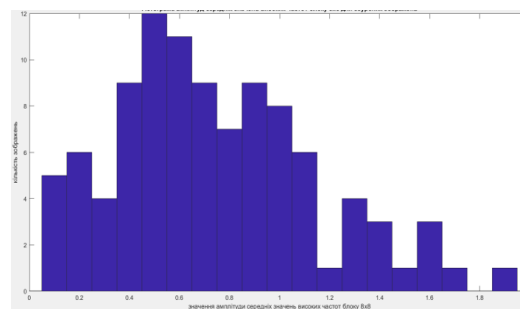


Рис. 15. Гістограма амплітуд середніх значень високих частот для блоку 8×8 зашумлених зображень

Далі необхідно знайти середні значення амплітуд високих частот в кожному блоці 8×8 для оригінальних та збурених зображень, які показані на рисунку 16 та рисунку 17.

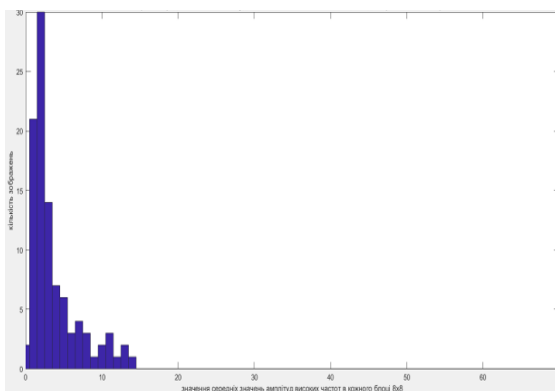


Рис. 16. Гістограма середніх значень амплітуд високих частот в кожному блоці 8×8 для оригінальних зображень

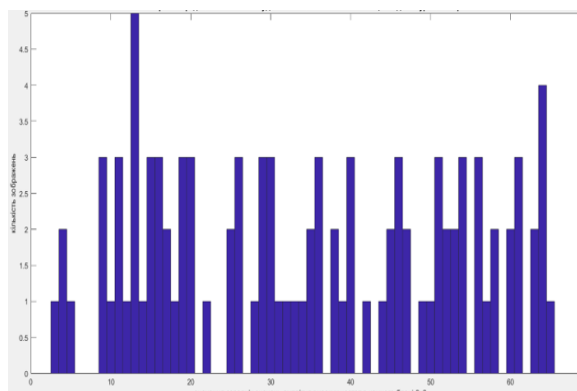


Рис. 17. Гістограма середніх значень амплітуд високих частот в кожному блоці 8×8 для зашумлених зображень

Такі ж характеристики було отримано для зображень, оброблених мультиплікативним шумом з дисперсією 0.001 та 0.005.

Візуально ми бачимо, що для оброблених зображень коефіцієнти ДКП значно більші, ніж для необроблених, тому задача полягає в тому, щоб визначити порогове значення для виявлення мультиплікативного шуму. Для цього потрібно отримати усереднені показники, які можна поставити у відповідність зображенню і використати в якості порогового значення.

Розглянемо коефіцієнти ДКП, вони можуть бути додатні і від'ємні. Знайдемо середні арифметичні значення для високочастотних коефіцієнтів ДКП і знайдемо модуль різниці між максимальним та мінімальним значенням – показник 1. Розглянемо також як альтернативу показник 2: спочатку знайдемо

модуль різниці максимального та мінімального значення високочастотних коефіцієнтів в блоках матриці цифрового зображення, після чого знайдемо середнє арифметичне отриманих різниць. Будемо використовувати дані показники в якості порогового значення. Експериментально встановлено, що певні значення даних показників дійсно дозволяють розрізнити оброблені зображення від необроблених. В таблиці 1 показано результати їх використання.

Таблиця 1

Результати розробленого методу

Збурення (величина дисперсії)	АСС		Помилки I роду		Помилки II роду		Порогове значення	
	Показник №1	Показник №2	Показник №1	Показник №2	Показник №1	Показник №2	Показник №1	Показник №2
0.001	0.89	0.855	5%	14%	17%	15%	0.1457	6.3424
0.005	0.88	0.935	7%	4%	17%	9%	0.1457	9.1088
0.01	0.955	0.965	4%	4%	5%	3%	0.2378	11.8751

Як можемо бачити, дані показники дають різні результати за різних параметрах мультиплікативного шуму. Однак за характеристикою АСС Показник 1 кращий.

Характеристика АСС (Accuracy of CC) – кількісний показник ефективності. Він визначає точність виявлення порушення цілісності. Формула розрахунку АСС представлена нижче:

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

де TP (TruePositive) – число правильно виявлених ЦЗ, цілісність яких була порушена (істинно позитивний результат);

TN (TrueNegative) – число правильно виявлених оригінальних ЦЗ (істинно негативний результат);

FP (FalsePositive) – число оригінальних ЦЗ, помилково прийнятих за такі, цілісність яких була порушена (хибно позитивний результат (хибна тривога) або помилка II роду);

FN (FalseNegative) – число ЦЗ, цілісність яких була порушена, помилково визнаних оригінальними (хибно негативний результат або помилка I роду).

Ефективність розробленого методу по виявленню мультиплікативного шуму була перевірена по даному показнику та показана у таблиці 1.

Крім того на даному етапі досліджень, коли експеримент було проведено для мультиплікативного шуму x дисперсією 0,001, 0,005 та 0,01 і для кожної дисперсії отримано різні значення Показника 1 (далі П1), рекомендується включити в алгоритм всі три випадки. Розробка універсального порогового значення є предметом подальших досліджень.

На основі отриманих результатів розроблено метод виявлення мультиплікативного шуму, основні кроки алгоритму якого наступні.

Нехай F – m×n матриця яскравості пікселів цифрового зображення.

Крок 1. Розбити матрицю F на непересічні блоки 8×8.

Крок 2. Знайти для кожного блоку коефіцієнти ДКП.

Крок 3. Виділити з кожного блоку по 9 коефіцієнтів ДКП, що відповідають високим частотам.

Крок 4. Знайти середні арифметичні значення відповідних коефіцієнтів ДКП по всім блокам цифрового зображення.

Крок 5. Знаходимо Π_1 як різницю максимального та мінімального середніх значень високочастотних коефіцієнтів:

якщо $\Pi_1 > 0,1457$, то вважати цифрове зображення обробленим;

інакше вважати цифрове зображення необробленим.

На основі отриманих результатів розроблено метод виявлення мультиплікативного шуму як порушення цілісності цифрового зображення. Ефективність даного методу в термінах помилок 1 і 2 роду складає 7% і 17% відповідно. Метод має потенціал для подальшого вдосконалення.

Список літератури

1. Tymoshenko D. How the photo fakes work at war. Radio Svoboda. July 05, 2018. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/donbass-realii/29341812.html>
2. Rodyhin K., Iermakova I. The kinds of media photo content manipulations in the context of information and semantic warfare. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya Zhurnalistyka*. 2020. No. 47. P. 200–214.
3. Guglielmi G. Peer-reviewed homeopathy study sparks uproar in Italy. *Nature*. 2018. No. 562. P.173-174.
4. Brainard J, You J. What a massive database of retracted papers reveals about science publishing's 'death penalty'. *Science*. 2018. No.10. P.189-194.
5. Kumar B.S., Karthi S., Karthika K., Cristin R. A Systematic Study of Image Forgery Detection. *Journal of computational and theoretical Nanoscience*. 2018. Vol.15(8). P.2560–2564.
6. Кобозева А.А. Основы общего подхода к решению проблемы обнаружения фальсификации цифрового сигнала. *Електромашинобудування та електрообладнання*. 2009. Вип. 72. С. 35-41.
7. Зоріло В.В., Головка Ю.О., Якименко І.З., Гураль І.В. Модифікований метод виявлення розмиття цифрового зображення. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ '2017*. Тернопіль: ТНЕУ, 2017. С. 203-204.

Є.О. Корольова, Б.О. Розум'як, В.В. Зоріло, О.Ю. Лебедєва, Д.А. Маєвський

**METHOD OF DETECTION OF BLUR AND MULTIPLICATIVE NOISE AS
DIGITAL IMAGE PROCESSING BASED ON ANALYSIS OF DISCRETE
COSINE TRANSFORMATION COEFFICIENTS**

V.V. Zorilo, Ye.O. Koroliova, B.O. Rozumiak, D.A. Mayevsky

National Odesa Polytechnic University, Shevchenko str, 1, Odesa, 65044
vikazorilo@gmail.com

It is obvious that there can be no security without information security. Staying in one or another information space changes consciousness, forces people to commit crimes of varying degrees of severity, or to justify supporting criminals. An important tool in the violation of information security is propaganda, which does not disdain any methods to achieve the goal, including using fake photo, video, and audio files to realize informational and psychological influence on society. The methods of dealing with such cases are comprehensive and complex in nature. Among them, the methods of establishing the truth of digital content or proving that this or that information is fake play an important role. When forging digital files, in particular, digital images, post-processing methods such as blurring, multiplicative noise, etc. are often used. Identifying these types of post-processing is currently not a solved task, although it has certain successes. The purpose of this work is to improve the detection efficiency of digital image processing by developing a blur detection method and a multiplicative noise detection method. A computational experiment was conducted, as a result of which it was established that the discrete cosine transformation is a convenient and effective tool for detecting Gaussian blur and multiplicative noise. Blur ring reduces the value of high-frequency DCP coefficients, while multiplicative noise increases them. At the same time, the raw image has high-frequency coefficients within a certain norm. In the work, it was possible to single out threshold values that allow recording deviations from the norm in one direction or another, on the basis of which a method for detecting blur ring and a method for detecting multiplicative noise, based on the analysis of high-frequency coefficients of DCP, was developed.

Keywords: information security, digital image forensics, blurring, multiplicative noise.