

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ФОТОМОНТАЖУ НА ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ

А.А. Кобозєва¹, Б.Г. Єнакієв²

¹Одеський національний університет імені І.І.Мечникова,
2, Дворянська вул., м.Одеса, 65082, Україна,
email: alla_kobozeva@ukr.net

²Національний університет «Одеська політехніка»,
1, Шевченка пр., м.Одеса, 65044, Україна;
email: enakievb@gmail.com

Цілісність інформаційного контенту, зокрема цифрового зображення, що розглядається в роботі, є одним з критеріїв його захищеності. Одним з найпоширеніших на сьогодні та таким, що легко реалізується за допомогою існуючих графічних редакторів (PhotoShop, Gimp та ін.) способів фальсифікації – порушення цілісності цифрових зображень є фотомонтаж, в ході якого одне зображення створюється з декількох. Не дивлячись на те, що задача виявлення фотомонтажу є предметом дослідження вчених в галузі інформаційної безпеки по всьому світу, вона залишається надзвичайно актуальною на сьогоднішній день, оскільки не є остаточно вирішеною: не існує універсальних експертних методів, які в змозі навіть детектувати наявність «чужорідної» частини – вклейки у будь-якому випадку фотомонтажу, крім того ефективність існуючих методів потребує підвищення навіть в обмежених умовах їх застосування. В роботі представлений новий поліноміальний ступеня 2 експертний метод, який на основі аналізу властивостей матриці найменших сингулярних чисел блоків, що ставиться у відповідність матриці цифрового зображення, дає змогу відокремити оригінальне зображення від такого, цілісність якого порушена, а також локалізувати область, що містить в собі «вклейку» – частину іншого зображення. Представлений метод базується на встановлених відмінностях властивостей матриці найменших сингулярних чисел блоків для цифрових зображень, що зберігаються в різних форматах – з втратами та без втрат, які знайшли своє відображення в запропонованому в роботі методі відокремлення зображень в різних форматах збереження, що може використовуватися як окремо, так і як складова розробленого методу виявлення фотомонтажу у випадку, коли означене фальсифіковане зображення складається з частин зображень, збережених з втратами та без втрат. Встановлено, що запропонований експертний метод забезпечує підвищення ефективності процесу виявлення факту наявності фотомонтажу в порівнянні з сучасним методом-аналогом.

Ключові слова: цифрове зображення, фотомонтаж, сингулярне число, матриця найменших сингулярних чисел, вклейка

Вступ. Інформаційна сфера сьогодні стала базовою для розвитку всіх інших сфер людського життя: економічної, політичної, дипломатичної тощо [1]. Природним наслідком цього є те, що питання захисту інформації стає одним з найактуальніших питань не тільки сучасної науки, а й сучасного життя в цілому. Одним з критеріїв захищеності інформації є її цілісність, що полягає в тому, що інформація не може бути модифікована неавторизованим користувачем і/або процесом [2,3]. Але сучасне інформаційне поле, як правило, не надає гарантій цілісності циркулюючої в ньому інформації [1], що приводе до актуальності наявності методів, алгоритмів, засобів для ефективного відокремлення оригінального контенту від зміненого, спотвореного, зокрема цифрових зображень, що розглядаються в роботі. Ця актуальність для нас стала критичною під час війни України проти агресії Росії, під час інформаційної війни, що розвернула країна-агресор, поширюючи різноманітні фото-, відеофейки в світовому інформаційному просторі, довіра до яких створює хибне уявлення, розуміння наявних

подій та їх результатів. Одним з найпоширеніших на сьогодні та таким, що легко реалізується за допомогою існуючих графічних редакторів (PhotoShop, Gimp та ін.) способів фальсифікації – порушення цілісності цифрових зображень є фотомонтаж (рис.1), коли одне цифрове зображення (ЦЗ) створюється з декількох [4-7]. Не дивлячись на те, що задача виявлення фотомонтажу є предметом дослідження вчених в галузі інформаційної безпеки по всьому світу, які застосовують при цьому різноманітні теоретичні (математичні) базиси (дискретне вейвлет-перетворення і гистограми дискримінаційних робастних локальних двійкових шаблонів [4]; модель згорткової нейронної мережі [5], властивості параметрів нормального сингулярного розкладання блоків матриці ЦЗ [6] тощо), вона не є остаточно вирішеною: не існує універсальних експертних методів, які в змозі навіть детектувати наявність «чужорідної» частини – вклейки у будь-якому випадку фотомонтажу, до того ж ефективність існуючих методів потребує підвищення.

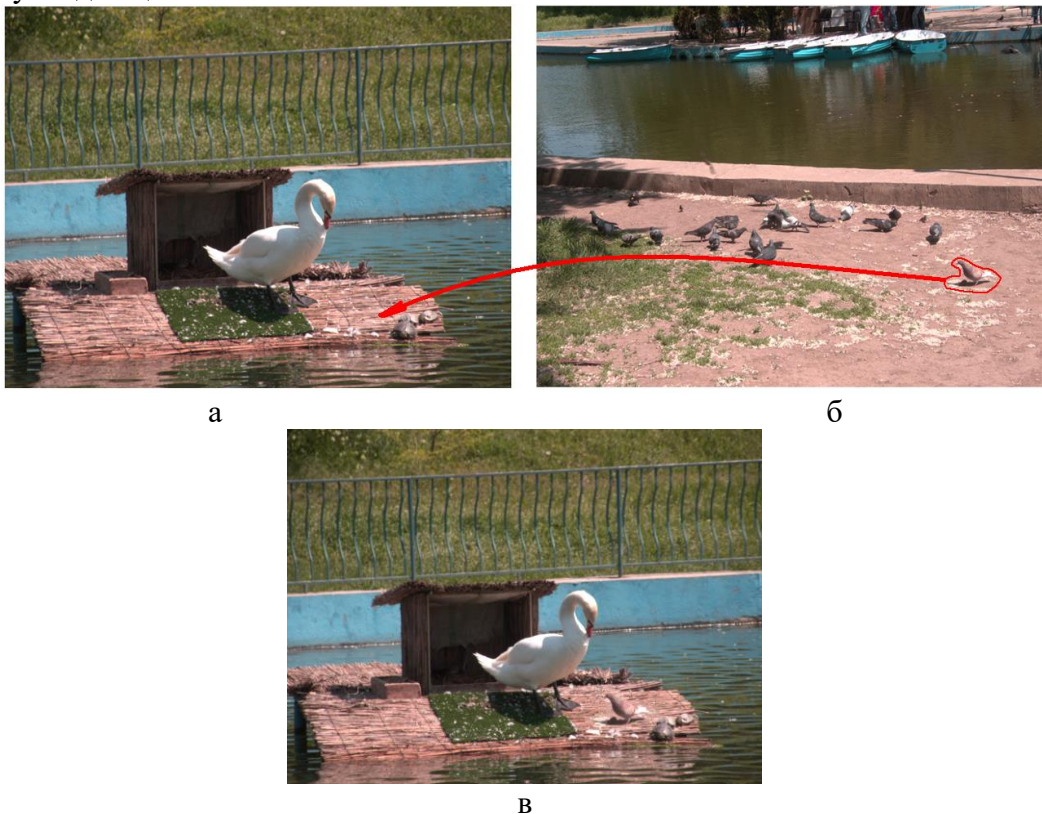


Рис.1. Ілюстрація застосування для ЦЗ фотомонтажу: а, б – оригінальні ЦЗ; в – результат проведеного фотомонтажу

Метою роботи є підвищення ефективності процесу виявлення порушення цілісності цифрового зображення шляхом розробки методу виявлення факту фотомонтажу.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні *задачі*:

1. Визначити та обґрунтувати доцільність математичного об'єкту, що ставиться у відповідність ЦЗ, для використання його в процесі експертизи цілісності зображення;
2. Дослідити властивості математичного об'єкту, визначеного в задачі 1, що ставиться у відповідність ЦЗ;
3. На основі встановлених властивостей математичного об'єкту, визначеного в задачі 1, розробити метод відокремлення ЦЗ в різних форматах збереження: з втратами та без втрат;
4. Розробити метод виявлення фотомонтажу для випадку, коли фотомонтаж містить частини ЦЗ в різних форматах збереження;

5. Провести оцінку ефективності, в тому числі, порівняльну розробленого методу виявлення фотомонтажу.

Об'єктом дослідження в роботі є процеси порушення цілісності ЦЗ.

Предметом дослідження є методи виявлення фотомонтажу в ЦЗ.

Розробка методу відокремлення цифрових зображень в різних форматах збереження. Останнім часом переважна більшість методів, що працюють з ЦЗ, кадрами цифрового відео, є блоковими, тобто такими, що здійснюють аналіз/обробку зображення/кадра поблоково, попередньо проводячи відповідну розбивку матриці зображення. Частіше за все – це стандартна розбивка [8] на непересічні квадратні блоки одного розміру, хоча це не обов'язково. Блокова обробка зображень має свої переваги, основна з яких – незначна обчислювальна складність. Дійсно, якщо обробляється цифровий контент (зображення, кадр відео) з $n \times n$ -матрицею, яка попередньо розбита на непересічні $l \times l$ -блоки, то незалежно від специфіки самого алгоритму, його обчислювальна складність буде визначатися кількістю блоків, тобто становити

$$k \times \left[\frac{n}{l} \right] \times \left[\frac{n}{l} \right] = O(n^2)$$

операцій, де k – кількість операцій для обробки одного блоку, яка ніяк не залежить від розміру ЦЗ, $[g]$ – ціла частина від аргументу. Враховуючи вищенаведене, експертиза ЦЗ в розроблюваному методі передбачає попередню розбивку його матриці на квадратні непересічні блоки одного розміру. В роботі передбачається, що фотомонтаж формується наступним чином. Використовуються два ЦЗ в різних форматах збереження: з/без втрат. Одне з них відіграє роль основного, а друге такого, з якого береться частина, яка переноситься на перше зображення, створюючи на ньому заміщуючу область – вклейку (рис.1). Для виявлення результатів фотомонтажу в таких умовах ключовим моментом є наявність інструменту для відокремлення ЦЗ в різних форматах збереження. Не обмежуючи спільності міркувань, для простоти подальшого викладу будемо вважати, що формально будь-яке ЦЗ під час експертизи представляється одною $n \times m$ -матрицею F . Якщо ЦЗ є кольоровим, то, залежно від схеми збереження, F може бути або матрицею яскравості (схема YUV), або одною з матриць кольорів (схема RGB). Останнім часом дуже добре для вирішення задач інформаційної безпеки зарекомендував себе загальний підхід до аналізу стану й технології функціонування інформаційних систем (ЗПАІС) [9], заснований на теорії збурень та матричному аналізі, відповідно до якого зміна стану будь-якої інформаційної системи, частковим випадком якої є ЦЗ, цифрове відео, представляється сукупністю збурень повного набору формальних параметрів, що визначають матрицю, яка ставиться у відповідність інформаційній системі. Один з повних наборів складається з сингулярних чисел (СНЧ) і сингулярних векторів матриці, отриманих за допомогою нормального сингулярного розкладання, що визначається однозначно для матриці, яка не має кратних СНЧ [10]. З урахуванням цього, а також того, що матриця оригінального ЦЗ, як правило, не має кратних СНЧ, в якості основних аналізованих параметрів для рішення задачі, що розглядається в роботі, будемо розглядати СНЧ матриці (блоків матриці) зображення, які є добре обумовленими, на відміну від сингулярних векторів, які в межах одної матриці можуть бути як добре, так і погано обумовленими [11].

Матриці F ЦЗ поставимо у відповідність матрицю M найменших сингулярних чисел блоків (МНСБ) за наступним правилом. Матриця F розбивається попередньо стандартним чином на непересічні $l \times l$ -блоки. В МНСБ M , розмір якої $\left[\frac{n}{l} \right] \times \left[\frac{m}{l} \right]$,

кожний елемент $m_{ij}, i=1, \left[\frac{n}{l} \right], j=1, \left[\frac{m}{l} \right]$, відповідає блоку B ЦЗ, визначаючи в B кількість СНЧ, менших заданого порога T , значення якого очевидно буде залежати від

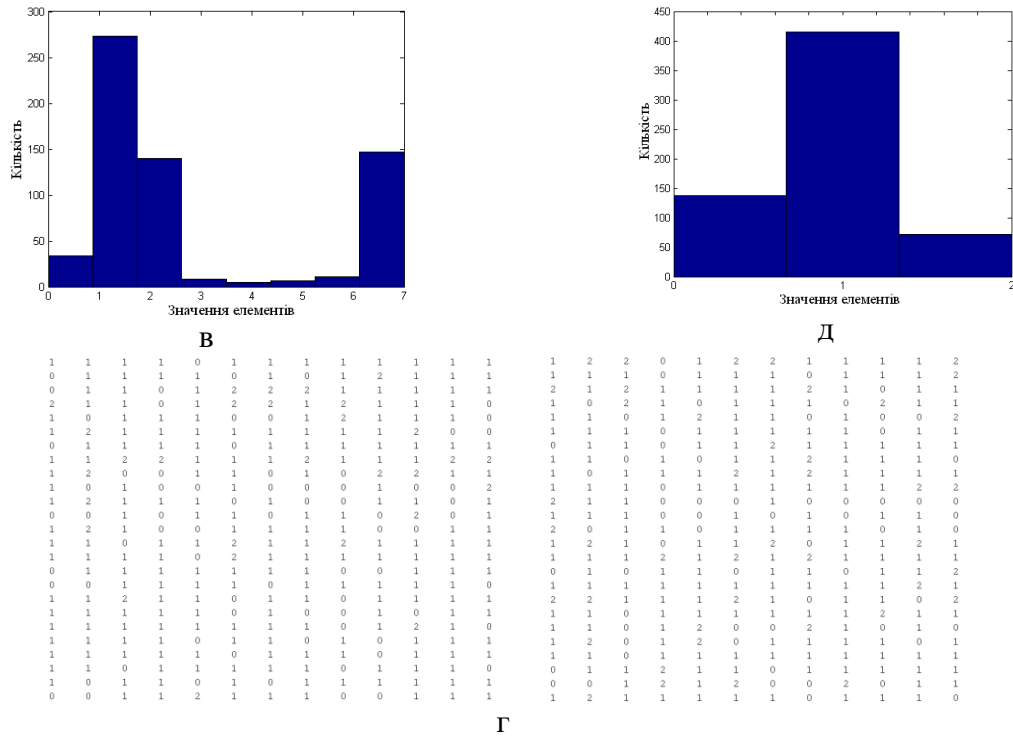


Рис.2. Ілюстрація відмінності МНСЧ для відповідних ЦЗ в різних форматах збереження ($T=0.5$; $l=8$): а – ЦЗ1 розміром 200×200 пікселів в форматі Jpeg (коефіцієнт якості $QF=75$); б – МНСБ для ЦЗ1; в – гістограма значень МНСБ для ЦЗ1; г – МНСБ для ЦЗ2 в форматі Tif, відповідного ЦЗ1; д – гістограма ень МНСБ для ЦЗ2

Для блоків ЦЗ в форматі без втрат СНЧ, значення яких менші за T , як правило, менше, ніж в блоках ЦЗ в форматі з втратами, на що наочно вказують гістограми МНСБ (рис.2(в,д)). Таким чином, саме МНСЧ буде тим математичним об'єктом, що ставиться у відповідність ЦЗ, аналіз якої буде використовуватися в процесі експертизи цілісності зображення, тобто вирішує задачу 1 з переліку задач дослідження.

Враховуючи все вищенаведене, основні кроки методу відокремлення ЦЗ в різних форматах збереження (з/без втрат) виглядають наступним чином:

Крок 1. Матриця F ЦЗ розміром $n \times m$, що піддається експертизі цілісності, розбивається стандартним чином на непересічні $l \times l$ -блоки B_{ij} , де i – номер блокового

рядка, j – номер блокового стовпця, на перерізі яких знаходиться блок, $i = 1, \overline{\left\lceil \frac{n}{l} \right\rceil}$,

$j = 1, \overline{\left\lceil \frac{m}{l} \right\rceil}$ (відлік починається з лівого верхнього кута ЦЗ) (рис.3).

Крок 2. (Побудова матриці M найменших сингулярних чисел блоків).

Для визначення елемента m_{ij} , $i = 1, \overline{\left\lceil \frac{n}{l} \right\rceil}$, $j = 1, \overline{\left\lceil \frac{m}{l} \right\rceil}$ матриці M розміру

$$\left\lceil \frac{n}{l} \right\rceil \times \left\lceil \frac{m}{l} \right\rceil:$$

2.1. Побудувати сингулярне розкладання (1) для відповідного блоку B_{ij} :

$$B_{ij} = U \Sigma V^T$$

з якого визначити сингулярні числа B_{ij} : $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_l \geq 0$.

2.2. Визначити кількість $K \in \{0, 1, 2, \dots, l\}$ СНЧ B_{ij} , для яких має місце: $\sigma_l < T$,

де T – порогове значення, що визначається експериментальним шляхом для кожного l .

2.3. Визначення елемента m_{ij} : $m_{ij} = K$.

Крок 3. Побудувати гістограму значень елементів матриці M ; визначити моду $mod M$ гістограми.

Крок 4. (Експертний висновок).

Якщо $mod M \geq T_{mod T}$ то ЦЗ збережене в форматі з втратами.

Якщо $mod M = 0$ то ЦЗ збережене в форматі без втрат.

Якщо $(1 \leq mod M \leq T^1_{mod}) \& (\exists m_{ij} > T^2_{mod})$ то ЦЗ збережене в форматі з втратами

Якщо.. $(1 \leq mod M \leq T^1_{mod}) \& (\neg \exists m_{ij} > T^2_{mod})$ то ЦЗ збережене в форматі без втрат

де $T_{mod}, T^1_{mod}, T^2_{mod}$ встановлюються експериментально для кожного l .

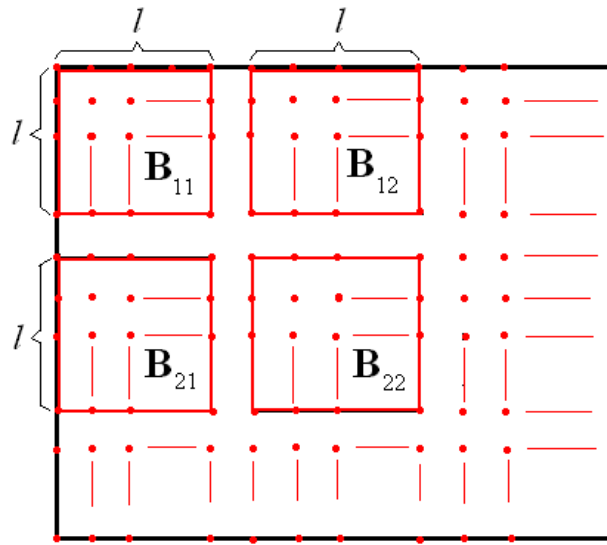


Рис.3. Розбивка матриці F ЦЗ на $l \times l$ -блоки для побудови матриці M найменших СНЧ блоків

Експериментально встановлено рекомендовані значення параметрів методу відокремлення ЦЗ в різних форматах збереження (з втратами, без втрат) для $l=8$ (враховуючи, що найпопулярнішими і найпоширенішими алгоритмами стиску ЦЗ з втратами є JPEG та JPEG2000, що використовують 8×8 -блоки):

$$T = 0.3; T_{mod} = 3; T^1_{mod} = 2; T^2_{mod} = 4.$$

На рис.4,5 продемонстровані результати роботи програмного продукту, що реалізує алгоритм, відповідний запропонованому методу (для вказаних значень параметрів).

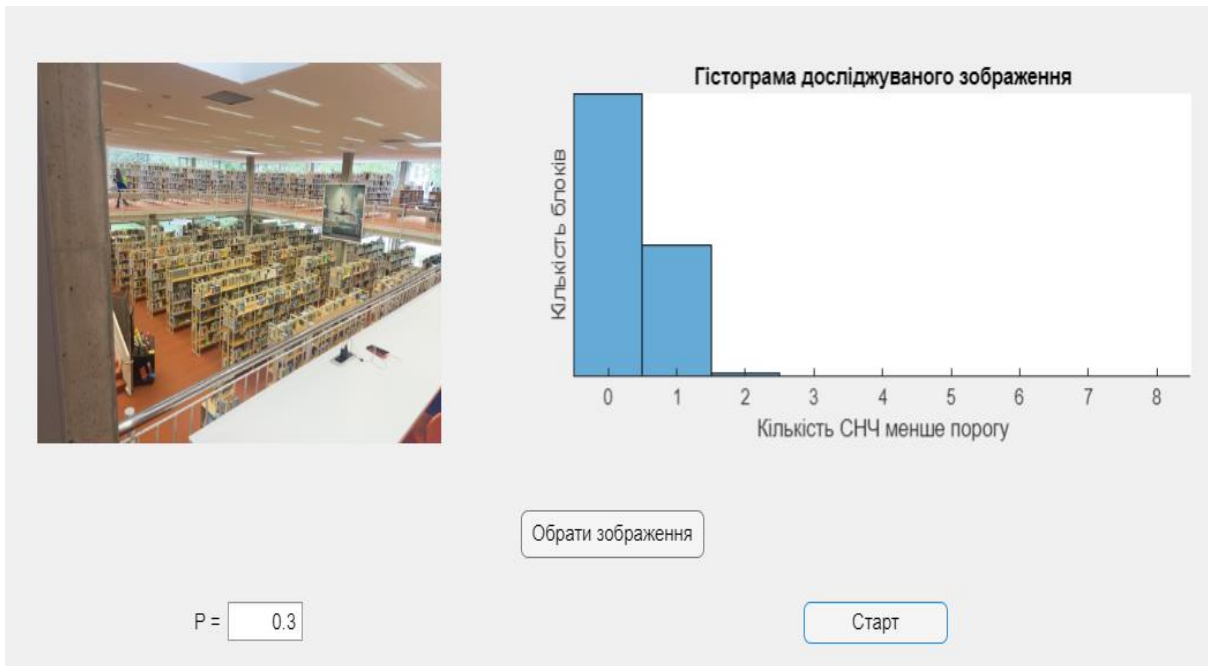


Рис. 4. Зображення у форматі без втрат та його гістограма

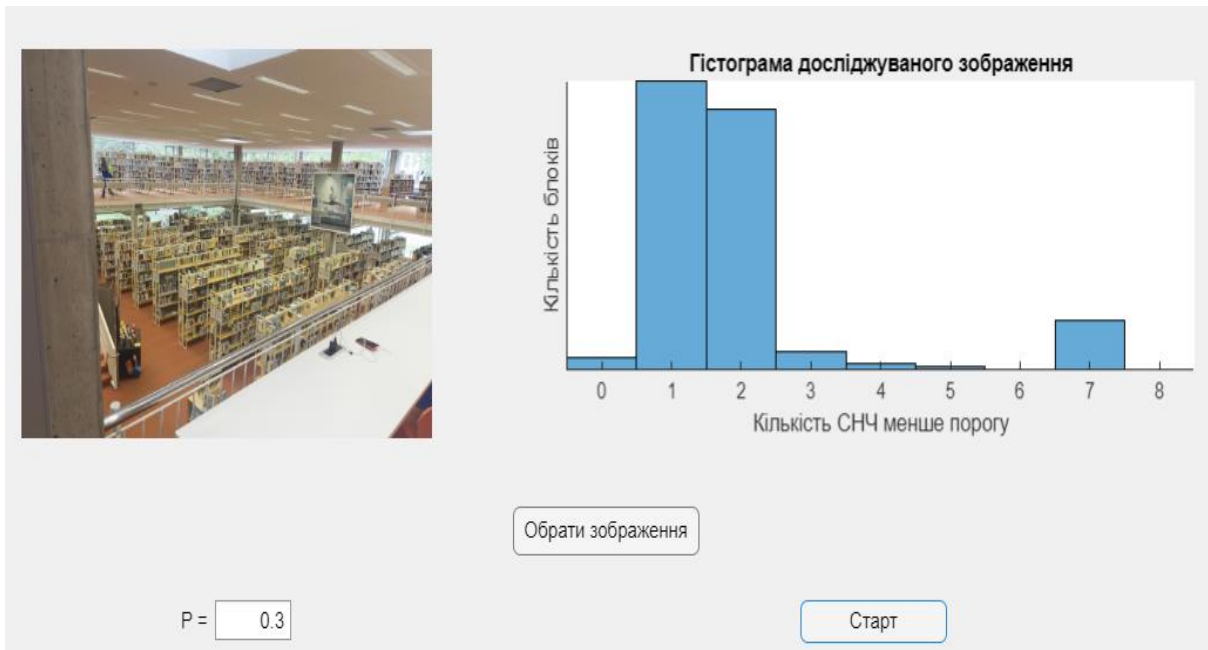


Рис. 5. Зображення у форматі з втратами та його гістограма

Гістограма першого зображення має моду, що дорівнює 0, тому однозначно відповідає ЦЗ в форматі без втрат (рис.4), мода гістограми для другого зображення дорівнює 1 і при цьому має ненульові стовпчики для аргументів 5 і 7, що говорить про формат ЦЗ з втратами (рис.5). І перший, і другий випадки відповідають дійсності.

Метод виявлення фотомонтажу. Використовуючи отримані вище відмінності між ЦЗ, що були збережені у форматі з втратами, від зображень у форматі без втрат, запропоновано метод виявлення фотомонтажу з локалізацією вклейки – фрагменту стиснутого зображення на оригінальному фоновому зображенні в форматі без втрат.

Сформуємо множину X , яку поставимо у відповідність матриці M найменших СНЧ блоків ЦЗ, наступним чином. Серед M знаходимо максимальний елемент: $X_a = \max_{i,j} m_{ij}$. Через те, що значення елементів матриці M не є унікальними між собою,

значення X_a може мати певна кількість елементів m_{ij} . Ці і тільки ці елементи M увійдуть у множину X .

Експериментально встановлено, що якщо потужність множини X буде меншою за п'ять (при використанні блоків розміром $l=8$), то ЦЗ з матрицею F не містить вклейки.

Нехай кількість елементів в X не менша за 5. Оскільки стиск цифрового зображення з втратами не зменшує значення його матриці найменших сингулярних чисел, то можна припустити, що деякі зі знайдених елементів m_{ij} із X належать вклейці. Розглянемо околі O розміром $L \times L$ (розмір околу L визначається експериментально) навколо кожного знайденого елемента $m_{ij}=X_a$ з множини X . Серед побудованих околів визначимо той, що включає в себе найбільшу кількість елементів $m_{ij} \in X$ з усіх.

Для того, щоб пересвідчитись в тому, що знайдений фрагмент O матриці M відповідає частині досліджуваного ЦЗ, що містить вклейку, отриману з ЦЗ у форматі з втратами, розраховується різниця S між середніми значеннями елементів матриці M та визначеного фрагменту O :

$$S = |A_1 - A_2|, \quad (4)$$

де A_1 – середнє арифметичне значень елементів матриці M , A_2 – середнє арифметичне значень елементів O .

Експериментально встановлено, що значення S у випадку, коли окіл O не містить вклейку, що є частиною ЦЗ в форматі з втратами, зазвичай становить менше ніж 0.2. Відповідно, якщо знайдене значення S буде більше ніж 0.2, то це може свідчити про наявність неоригінальних частин в O .

Однак вклейка може бути незначного розміру в порівнянні з розміром околу O . Це може призвести до того, що в цьому випадку значення S буде меншим за 0.2, і вклейку не буде зафіксовано. Для покращення даної ситуації необхідна додаткова перевірка знайденого фрагменту O , щоб він вважався «чистим». Для цього водиться параметр P , який встановлює відсоток елементів X_a , які належать фрагменту O , відносно їх загальної кількості в матриці M :

$$P = \frac{X_l}{X_g} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де X_l – кількість елементів зі значенням X_a у фрагменті O , X_g – кількість елементів X_a у всій матриці M .

Експериментально встановлено, що для того, щоб фрагмент O , пройшовши перевірку, вважався «чистим», значення P має становити менше 60%.

Враховуючи все вищенаведене, основні кроки запропонованого методу виявлення фотомонтажу на цифрових зображеннях виглядають наступним чином:

Крок 1, Крок 2 відповідають методу відокремлення ЦЗ в різних форматах збереження.

Крок 3. Визначити: $X_a = \max_{i,j} m_{ij}$ – максимальне значення елементів МНСЧ M .

Крок 4. З матриці M найменших сингулярних чисел блоків формується множина X елементів, значення яких дорівнюють X_a .

Крок 5. Перевірка загальної кількості елементів множини X

Якщо $|X| < 5$, де $|X|$ – потужність множини X ,

то ЦЗ не містить вклейку, кінець експертизи (перехід на крок 10)

Крок 6. Побудова околів O розміром $L \times L$ для кожного значення $m_{ij} \in X$.

Крок 7. З побудованих на кроці 6 околів визначити окіл \bar{O} , який містить найбільшу кількість елементів множини X .

Крок 8. Розрахунок значень S (4) та P (5) для подальшого аналізу обраного фрагменту \bar{O} .

Крок 9. (Експертний висновок)

Якщо $S > 0.2$ то ідентифіковано вбудований фрагмент (перехід на крок 10).

Якщо $P > 60\%$ то ідентифіковано вбудований фрагмент (перехід на крок 10)

Якщо $(S \leq 0.2) \& (P \leq 60\%)$ то ЦЗ не містить вклейку

Крок 10. Кінець експертизи

На рис.6,7 продемонстрована робота програмного продукту, що реалізує розроблений метод з пороговим значенням $T=0.3, L=100$, результатом чого є правильне виявлення факту наявності фотомонтажу та локалізація безпосередньо вклейки на зображенні.

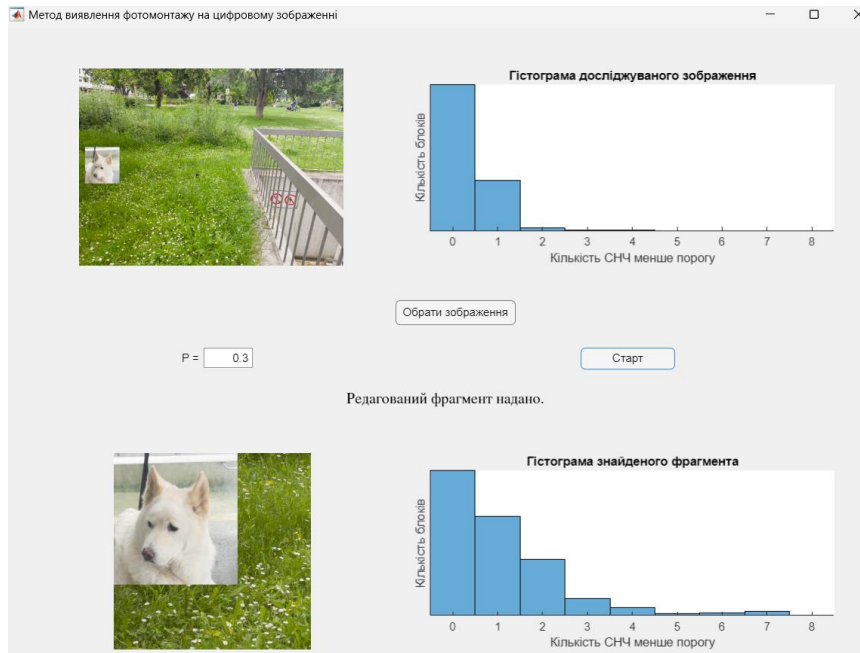


Рис.6. Результат роботи програмного продукту, що реалізує розроблений метод, при виявленні наявного фотомонтажу

3	2	4	3	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1								
7	5	3	7	7	6	4	2	2	4	3	1	2	1	2	1	0	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2								
4	3	4	4	2	2	3	3	2	1	0	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	0	3	3	3	2	1	2								
3	3	3	4	3	2	2	2	2	0	1	1	3	1	2	2	2	1	0	2	1	2	1	1	2	1	3	4	2	1	3	1	2								
2	1	3	3	3	4	1	1	2	2	1	3	1	1	2	1	2	2	1	1	3	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	3	1						
3	7	7	7	3	2	3	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	4	4	1	3	2	2						
3	1	1	2	1	1	2	2	3	3	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	1	2	1	1	2	1	3					
3	3	4	7	3	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	3	4	2	2	3	2	3	2	3					
2	1	4	3	1	1	1	3	4	4	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	3	1	2	4	6	3	3						
1	3	7	7	3	2	1	2	3	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3					
2	1	3	3	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	1	3	1	2	1	2	2	3	3	2	3	2	2					
4	3	7	7	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	3	3	1	2	1	1	3	2	1	2	3	2	1	2	3			
7	7	7	7	4	1	1	1	1	1	4	3	2	1	3	1	0	1	1	1	1	2	3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
3	2	3	7	4	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	3	2	2	1	2	2	4	4	2	2	2	2	2	1	4	6	3	3	2	1	4	6	3		
3	5	3	3	2	2	2	2	3	2	2	1	3	2	1	0	1	1	1	2	2	2	1	4	3	2	2	1	6	5	1	4	3	2	1	6	5	1	4		
2	3	4	7	3	1	2	1	1	2	3	2	3	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1		
0	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	2	0	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1		
0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	0	1	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	1	0	0	0	1	1	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	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	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	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	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	
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	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	1	0	0	0	1	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	
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	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	1	0	0	1	0	0	1	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	1	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	1	1	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	1	0	0	0	0	1	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	1	0	0	0	0	1	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	1	0	0	0	0	1	1	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	1	0	0	0	0	1	1	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

Рис. 7. Фрагмент матриці найменших сингулярних чисел блоків на межі перетину фонового зображення зі знайденою вставкою

Результатом роботи розробленого методу є фрагмент досліджуваного зображення розміром 800×800 пікселів, який відповідає обраному фрагменту матриці найменших сингулярних чисел блоків, а також сам обраний фрагмент матриці.

Програмна реалізація та оцінка ефективності розробленого методу виявлення фотомонтажу. В процесі дослідження ефективності роботи запропонованого методу було створено програмний продукт, який дозволяє користувачу обирати зображення та встановлювати порогове значення T для проведення експертизи цілісності.

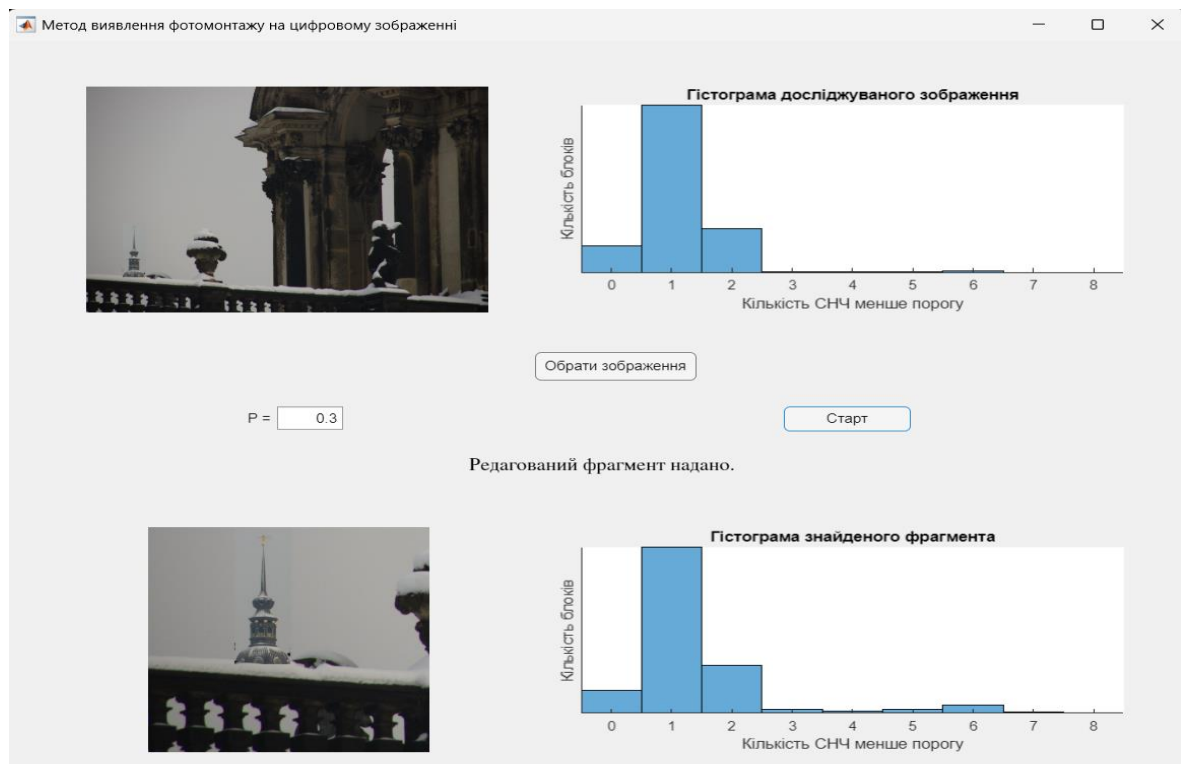
На рис.8,9 можна побачити демонстрацію типових результатів для конкретних ЦЗ (підданого фотомонтажу (рис.8), та оригінального (рис.9)) розробленого програмного продукту.



а



б



в

Рис. 8. Результат роботи програмного продукту, що реалізує розроблений метод, у випадку, коли досліджуване ЦЗ містить вклейку: а – фонове ЦЗ; б – ЦЗ, з якого береться вклейка; в – результат виявлення фотомонтажу та локалізації області вклейки

В якості фонового зображення на рис.8 фігурує ЦЗ (рис.8(а)) у форматі PNG. Вклейка, а саме виділена у червоний прямокутник башта, була взята з ЦЗ у форматі JPEG з коефіцієнтом якості $QF=80$ (рис.8(б)). Вклейка була успішно знайдена, виділений фрагмент надано (рис.8(в)).

На рис.9 представлені результати експертизи оригінального ЦЗ (рис.8(а)), де не зафіксовано жодних змін на зображенні. При порівнянні гістограм досліджуваних зображень (рис.8(в) та рис.9) можна помітити, що на гістограмі зображення зі вставкою наявна значна кількість шісток та сімок, в той час як на гістограмі зображення без вставки ці елементи відсутні.

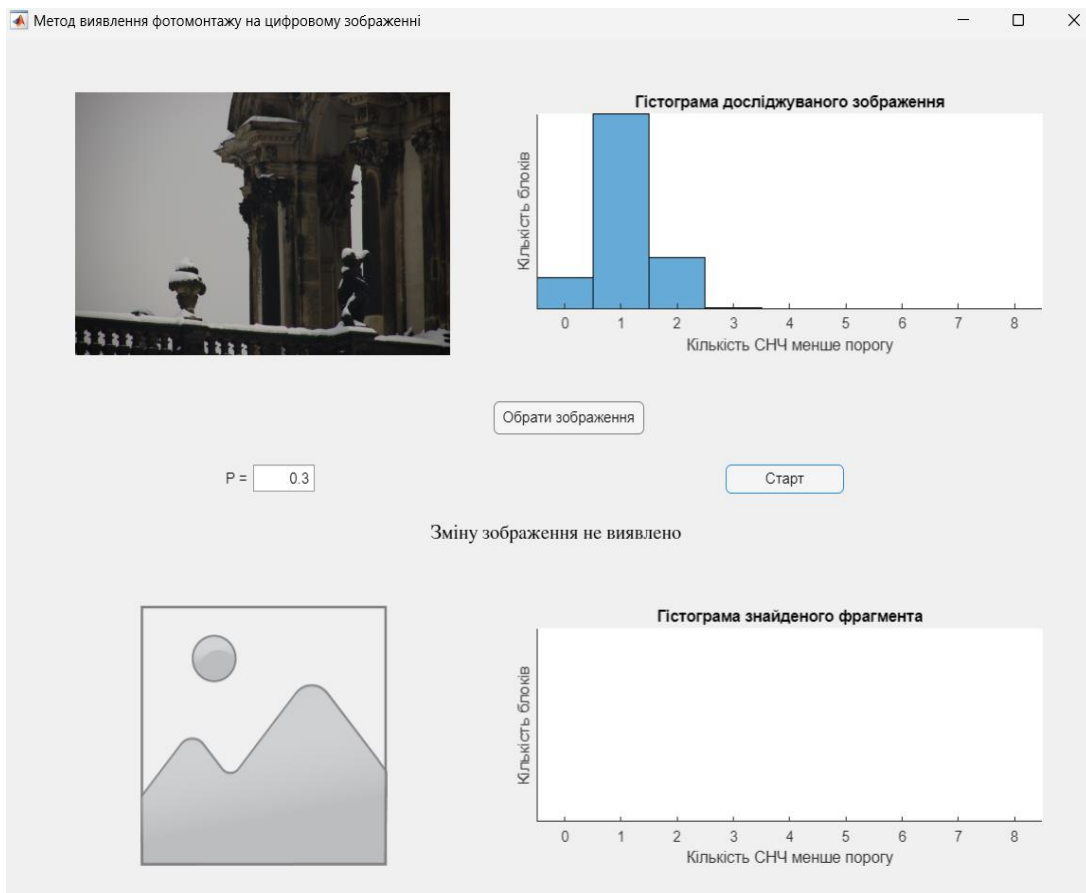


Рис.9. Результат роботи програмного продукту, що реалізує розроблений метод, у випадку, коли досліджуване ЦЗ є оригінальним

Для оцінки ефективності розробленого методу виявлення фотомонтажу був проведений обчислювальний експеримент, в якому було задіяно 100 оригінальних ЦЗ, отриманих як професійними, так і непрофесійними відеокамерами, які піддавалися фотомонтажу. Оригінальні і спотворені ЦЗ піддавалися експертизі за допомогою розробленого методу. Кількісними результатами проведення експерименту стали помилки 1-го (спотворене ЦЗ ідентифікувалося як оригінальне) і 2-го (оригінальне ЦЗ ідентифікувалося як спотворене) роду. Для порівняльної оцінки ефективності був обраний сучасний метод-аналог, запропонований в [6], оскільки він має подібну до розробленого область застосування і схожий математичний апарат, заснований на аналізі СНЧ блоків матриці ЦЗ.

Результати проведеного обчислювального експерименту представлені в табл.1 (тут помилки 1-го і 2-го роду для методу [6] рахувалися як середні значення відповідних помилок для всіх розглянутих в роботі [6] варіантів, де фотомонтаж був побудований з зображеннями в різних (з/без втрат) форматах збереження).

Таблиця 1

Оцінка ефективності розробленого методу

Метод	Помилки 1-го роду (%)	Помилки 2-го роду (%)
Метод, запропонований в [6]	23	3
Розроблений метод	14	8

Як видно з наведених результатів, запропонований метод дещо поступається аналогу в сенсі помилок 2-го роду (хибних тривог), але значно перевершує в сенсі помилок 1-го роду – на 39%. Говорячи про основну мету роботи, треба зазначити, що в умовах проведення експертизи ключову роль відіграють саме помилки 1-го роду: критичним є пропуск фальсифікованого ЦЗ, тому зниження рівня саме цих помилок може розцінюватися як підвищення ефективності процесу саме виявлення результатів фотомонтажу.

Висновки. В роботі вирішена важлива науково-практична задача підвищення ефективності процесу виявлення порушення цілісності цифрового зображення шляхом розробки методу виявлення факту фотомонтажу. Метод розроблений на основі аналізу властивостей МНСЧ, множини X елементів МНСЧ, що мають максимальні значення, та околиць елементів з множини X . Показники ефективності запропонованого методу становлять: 14 і 8% – помилки 1-го і 2-го роду відповідно, що дозволило підвищити ефективність виявлення результатів фотомонтажу на 39% (в сенсі помилок 1-го роду) в порівнянні з сучасним аналогом, що має аналогічну область застосування та схожий математичний базис (заснований на аналізі СНЧ блоків матриці ЦЗ).

В ході розробки метода виявлення фотомонтажу в ЦЗ:

- Досліджено властивості матриці найменших сингулярних чисел блоків, що ставиться у відповідність ЦЗ, для різних форматів (з втратами, без втрат) збереження, в результаті чого обґрунтовано і практично підтверджено:

- значення елементів МНСЧ для ЦЗ в форматі з втратами в сукупності перевищують значення елементів МНСЧ для ЦЗ в форматі без втрат.

- гістограми значень елементів МНСЧ для зображень без втрат не можуть мати моду, що перевищує 2; гістограми значень елементів МНСЧ для зображень з втратами не можуть мати моду, що дорівнює 0;

- у випадку моди гістограми значень елементів МНСЧ 1 або 2, висновок про формат ЦЗ залежить від максимального значення МНСЧ.

- На основі встановлених властивостей МНСЧ розроблено метод відокремлення ЦЗ в різних форматах збереження: з втратами та без втрат.

Запропоновані в роботі методи мають незначну обчислювальну складність, яка для ЦЗ з $n \times n$ -матрицею становить $O(n^2)$ операцій, оскільки визначається кількістю блоків, отриманих шляхом стандартної розбивки матриці ЦЗ.

Методи можуть бути застосовані для експертизи цілісності як ЦЗ, так і цифрового відео (при проведенні експертизи покадрово), а враховуючи їх поліноміальну ступеня 2 обчислювальну складність є перспективними при застосуванні навіть в режимі реального часу для цифрового відео.

Список літератури

1. Пирцхалава Л.Г. Хорошко В.О., Шелест М.Є., Хохлячова Ю.Є.. Інформаційно-аналітичне забезпечення безпеки: монографія. Київ: ФЛП Ямчинський А.В., 2021. 470 с.
2. Термінологія в галузі захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу: НД ТЗІ 1.1-003-99. URL: https://tzi.ua/assets/files/1.1_003_99.pdf

3. Хорошко В.О., Павлов І.М., Бобало Ю.Я., Дудикевич В.Б., Опірський І.Р., Пархуць Л.Т. Проектування комплексних систем захисту інформації. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 320 с.
4. Siddiqi M.H., Asghar K., Draz U. Image Splicing-Based Forgery Detection Using Discrete Wavelet Transform and Edge Weighted Local Binary Patterns. *Security and Communication Networks*. 2021. V. 2021. 4270776. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/4270776>
5. Hosny K. M., Mortda A.M., Lashin N.A., Fouda M.M. A New Method to Detect Splicing Image Forgery Using Convolutional Neural Network. *Appl. Sci.* 2023. V. 13(3). P.1272.
6. Зорило В.В. Метод підвищення ефективності виявлення порушення цілісності цифрового зображення: дис. канд. техн. наук: 05.13.21. К., 2013. 127 с.
7. Bi X., Zhang Z., Xiao B. Reality Transform Adversarial Generators for Image Splicing Forgery Detection and Localization. *Proceedings of the 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). Montreal, Canada.* 2021. P. 14294-14303.
8. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. 4th Ed. New York: Pearson, 2017. 1192 p.
9. Кобозєва А.А., Хорошко В.О. Аналіз інформаційної безпеки: монографія. К.: ДУІКТ, 2009. 251 с.
10. Bergman C., Davidson J. Unitary embedding for data hiding with the SVD. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. Bellingham.* 2005. V. 5681, P. 619-630.
11. James W. Demmel. Applied Numerical Linear Algebra. Society for Industrial and Applied Mathematics, 1997. 419 p.

METHOD FOR IMAGE SPLICING FORGERY DETECTION

Kobozieva A.A.¹, Yenakiiev B.G.²

¹Odesa I.I. Mechnikov National University,
2, Dvorianska St. , Odesa, 65082, Ukraine,
email: alla_kobozeva@ukr.net

²National Odesa Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine
email: enakievb@gmail.com

The integrity of the information content, in particular the digital image considered in the work, is one of the criteria for its security. Image splicing is one of the most common methods of forgery today. This way of breaking the integrity of the image is easily implemented with the help of modern graphic editors (PhotoShop, Gimp, etc.). During image splicing, one image is created from several. The task of detecting image splicing is the subject of research by scientists in the field of information security around the world, but it remains relevant today: there are no universal expert methods that can even detect the presence of a "foreign" part in any case of image splicing; the effectiveness of existing methods needs to be increased even in limited conditions of their application. The paper presents a new polynomial degree 2 expert method, which makes it possible to separate the original image from one whose integrity is violated. The method is based on the analysis of the properties of the blocks smallest singular values matrix, which corresponds to the matrix of the digital image. The method localizes the area containing the part of another image. The developed method is based on established differences in the properties of the blocks smallest singular values matrix for digital images in different formats - lossy and lossless. These differences are reflected in the additional method of separating images in different formats proposed in the work. This method can be used both alone and as a component of the developed image splicing detection method in the case where the falsified image consists of parts of images stored with loss and without loss. It was established that the proposed expert method provides an increase in the efficiency of image splicing detection in comparison with the modern analogue method

Keywords: digital image, photomontage, singular number, matrix of the smallest singular values