

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ БЛОКОВОЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Хорошко В., Кобозєва А., Бобок І.

*У даний момент обробка зображення часто носить блоковий характер, коли обробці послідовно/паралельно піддаються окремі блоки матриці зображення. Метою роботи є забезпечення можливості виявлення порушення цілісності зображення внаслідок його блокової обробки в умовах, коли місце розташування сітки, яка використовується при обробці, невідомо, шляхом удосконалення методу виявлення блокової обробки, розробленого раніше. Запропоноване вдосконалення використовує для аналізу параметр, що відображає зміну кількості непересічних блоків малого розміру, для яких кут між нормованим вектором квадратів сингулярних чисел і сингулярним вектором, що відповідає максимальному сингулярному числу, дорівнює куту між першим вектором стандартного базису відповідного простору й  $n$ -оптимальним вектором, при зсуві сітки розбивки. Установлено, що алгоритмічна реалізація вдосконаленого методу незначно поступається по ефективності методу, взятому за основу, порівнянню по ефективності з існуючими аналогами.*

*Ключові слова.* Цифрове зображення, порушення цілісності, блокова обробка зображення, сингулярний вектор, сингулярне число, сітка розбиття.

### ВСТУП

Цілісність будь-якого інформаційного контенту, зокрема цифрового зображення (ЦЗ), аналізу якого присвячена робота, є необхідною умовою для його використання з нерозважальними цілями, залишаючи задачу виявлення порушень цілісності актуальною й надзвичайно важливою на сьогоднішній день [1,2].

Нещодавно в [3] був запропонований, а в [4] удосконалений новий підхід до розв'язку проблеми виявлення порушень цілісності ЦЗ, відповідно до якого для більшості  $l \times l$  – блоків малого розміру, отриманих шляхом стандартної розбивки [5] матриці оригінального ЦЗ має місце наступне співвідношення:

$$\angle(u_1, \bar{\sigma}) \approx \angle(v_1, \bar{\sigma}) \approx \angle(n^o, e_1), \quad (1)$$

де  $\angle(a,b)$  – кут між векторами  $a,b$ ;  $u_1$  і  $v_1$  – відповідно лівий і правий сингулярні вектори (СНВ)  $l \times l$ -блоку, що отримані шляхом його нормального сингулярного розкладання [6], які відповідають максимальному сингулярному числу  $\sigma_1$  цього блока,  $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_l \geq 0$  – сингулярні числа (СНЧ) блока

$$\bar{\sigma} = (\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_l^2)^T / \left\| (\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_l^2)^T \right\| \in R^l, \quad (2)$$

$n^0 = (1/\sqrt{l}, 1/\sqrt{l}, \dots, 1/\sqrt{l})^T \in R^l$  –  $n$ -оптимальний вектор простору  $R^l$ ,  $e_1 = (1, 0, \dots, 0) \in R^l$  – перший вектор стандартного базису простору  $R^l$ .

На сьогоднішній день велике поширення отримала блокова обробка ЦЗ, яка використовується з різними цілями, коли об'єкти послідовно/паралельно піддаються окремі блоки, що отримуються в результаті розбивки матриці зображення [7]. Така обробка використовується при стиску ЦЗ з втратами (формати Jpeg, Jpeg2000), клонуванні й не тільки. Дуже часто порушення цілісності ЦЗ відбувається при його використанні в якості контейнера при організації прихованого (стеганографічного) каналу зв'язку. Виявлення такого каналу засобами стеганоаналізу є актуальною не вирішеною остаточно задачею захисту інформації. Найчастіше стеганоперетворення ЦЗ сучасними стеганографічними методами відбувається поблоково [8-10]. Це пов'язано з декількома причинами [11]:

- сучасні стеганографічні методи повинні бути стійкими до стиску з втратами для забезпечення можливості збереження ЦЗ-стеганоповідомлення в такому форматі (найчастіше - Jpeg), враховуючи те, що сьогодні передача й зберігання інформації відбувається, як правило, в форматах з втратами. Оскільки алгоритм стиску Jpeg розбиває матрицю на блоки, то процес стеганоперетворення доцільно проводити також поблоково для врахування особливостей зміни параметрів ЦЗ-стеганоповідомлення при стиску;

- сучасні стеганографічні методи повинні мати малу обчислювальну складність. Ця вимога стає критичною при необхідності забезпечення можливості їх роботи в режимі реального часу з поточним контейнером, який усе частіше використовується на практиці. Обчислювальна складність будь-якого блокового алгоритму (методу) визначається кількістю блоків, тобто для  $n \times n$ -матриці  $F$  ЦЗ-

контейнера складе  $O(n^2)$  операцій, що робить такий алгоритм перспективним для використання в умовах потокового контейнера;

- обробка блоків зображення може відбуватися одночасно, що дозволяє розпаралелювати процес такої обробки, зменшуючи значно її час.

З врахуванням вище наведеного блокова обробка ЦЗ є розповсюдженою й широко використовуваною на сьогоднішній день, що робить задачу її виявлення *актуальною*.

В [11] показано, що блокова обробка ЦЗ має свої особливості: її природнім результатом найчастіше є зменшення кореляції значень яскравості для сусідів-пікселів, які виявляться на границях блоків, що використовуються при обробці. Це має наступні наслідки: відмінності в змінах кількостей блоків малого розміру, для яких виконується співвідношення

$$\angle(u_1, \bar{\sigma}) = \angle(n^o, e_1), \quad (3)$$

матриці оригінального ЦЗ й такого, цілісність якого була порушена в результаті блокової обробки, при зсуві сітки розбивки матриці при експертизі ЦЗ. На підставі результатів досліджень, отриманих в [11], в [12] на основі (1) був запропонований метод (і його алгоритмічна реалізація) виявлення блокової обробки ЦЗ, основними об'єктами аналізу в якому є:

$$SM = \left| \bar{k}_2 - k_2 \right|, \quad SM1 = \left| \bar{k}_4 - k_4 \right|, \quad (4)$$

які характеризують величини збурень кількостей блоків, що розглядаються, різних малих розмірів при різних розташуваннях сітки розбивки матриці ЦЗ. В алгоритмічній реалізації метода  $k_2$  і  $k_4$  (%) - відносні кількості  $2 \times 2$ - і  $4 \times 4$ -блоків у кожному ЦЗ, для яких виконувалася умова (3),  $\bar{k}_2$  і  $\bar{k}_4$  (%) – аналогічні параметри, які обчислювалися після зсуву сітки. Алгоритмічна реалізація запропонованого методу є ефективною в умовах різноманітних блокових збурних дій: збурень сингулярних чисел і СНВ блоків (з урахуванням того, що формальним представленням результату будь-якої збурної дії для ЦЗ є сукупність збурень СНЧ і СНВ його матриці (блоків матриці), отриманих за допомогою нормального сингулярного розкладання [2]), при виявленні результатів стиску ЦЗ з втратами, в умовах різних комплексів атак, що містять блокову обробку, при використанні його в якості стеганоаналітичного. Але в розробленому методі передбачається варіант, коли первісна розбивка матриці ЦЗ, що піддається експертизі за його допомогою, включає розбивку при блоковій обробці зображення.

Ця вимога легко виконується, якщо відомим є місце розташування сітки розбивки при блоковій обробці, але якщо досліджуване зображення, наприклад, зазнало обрізки, результатом якої є зміна розташування початку координат для ЦЗ і яка дуже легко і часто реалізується, то відомості про розташування сітки, яка використовувалася при блоковій обробці, будуть втраченими. Це не дає в загальному випадку можливості забезпечити умову первісної розбивки матриці, наведену вище, що звужує область застосування методу, розробленого в [12].

## МЕТА РОБОТИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

*Метою* роботи є забезпечення можливості виявлення порушення цілісності ЦЗ внаслідок його блокової обробки в умовах, коли місце розташування сітки, що використовувалася при обробці, є невідомим, шляхом удосконалення методу виявлення блокової обробки ЦЗ, розробленим в [12].

Для досягнення мети в роботі розв'язуються наступні *задачі*:

1. З урахуванням очікуваного зростання обчислювальної складності в результаті удосконалення, серед параметрів, які аналізуються методом, розробленим в [12], вибрати такі, що є більш придатними для досягнення поставленої мети, що дасть можливість зменшити кількість операцій при аналізі зображення при конкретній розбивці його матриці;

2. Удосконалити метод виявлення блокової обробки ЦЗ та розробити його алгоритмічну реалізацію;

3. Провести оцінку ефективності, в тому числі порівняльну, розробленої алгоритмічної реалізації удосконаленого методу виявлення блокової обробки ЦЗ.

*Об'єкт дослідження*: процес виявлення порушення цілісності цифрового контенту.

*Предмет дослідження*: метод виявлення блокової обробки цифрового зображення.

*Методи дослідження*: матричний аналіз [13], теорія збурень [2], методи цифрової обробки зображень [5].

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Параметри (4) ведуть себе по-різному у випадку оригінального ЦЗ і такого, яке зазнало блокову обробку: для оригінального ЦЗ [11]

$$(SM \leq 1) \& (SM1 \leq 1) \quad (5)$$

Співвідношення (5) порушується у випадку блокової обробки зображення.

Конкретні розміри блоків, що використовуються при експертизі ЦЗ, а саме  $2 \times 2$  і  $4 \times 4$ , обрані таким чином, щоб забезпечити можливість для блоків малого розміру задовольняти умові (3). В [11] показано, що такі блоки належать областям ЦЗ з малими перепадами значень яскравості. З урахуванням того, що чим менше розміри блоку, тим точніше ці блоки при розбивці матриці зображення будуть покривати такі області (в сенсі зменшення різниці між площею області і площею фігури, що складається з блоків розбивки (рис.1)), як параметр, що буде аналізуватися при експертизі цілісності ЦЗ буде використовуватися  $SM$ , що характеризує зміну кількості  $2 \times 2$ -блоків ЦЗ, що задовольняють умові (3), при зміні розташування сітки розбивки.

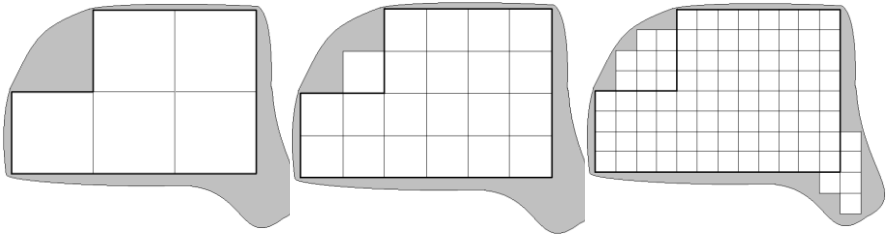


Рис.1 – Область ЦЗ із малими перепадами значень яскравості й блоки розбивки матриці зображення малих розмірів, що її складають

Якісний стрибок в кількості  $2 \times 2$ -блоків, що задовольняють умові (3), буде відбуватися при зміні взаємного розташування сіток розбивки, що використовуються при блоковій обробці ЦЗ та при його експертизі за допомогою  $2 \times 2$ -блоків з варіанту, представленим на рис.2(а), до варіанту, що відповідає рис.2(б), що докладно пояснено в [11]. Якщо припустити, що ЦЗ, яке піддається експертизі, попередньо зазнало обрізки, то визначити, якою повинна бути розбивка при експертизі для того, щоб отримати варіант рис.2(а) (варіант рис.2(б)) взаємного розташування сіток, не представляється можливим. Але, якщо сітка розбивки при експертизі буде зсуватися в одному й тому ж обраному напрямі на 1 піксель не більше, ніж  $(l-1)$  разів, то на якомусь кроці зміна двох послідовних взаємних розташувань сіток розбивки при блоковій обробці і експертизі зображення обов'язково буде відповідати варіантам, представленим на рис.2. Наслідком цього буде  $SM > 1$  на обговорюваному кроці.

З урахуванням вище наведеного основні кроки, що відповідають удосконаленому методу виявлення блокової обробки зображення, який розрахований на випадок невідомого місця розташування сітки розбивки при блоковій обробці, наступні.

**Крок 1.** Обрати напрям  $v$  зсуву сітки розбивки матриці ЦЗ.

**Крок 2.** Матриця  $F$  ЦЗ, що піддається експертизі, розбивається на непересічні блоки малого розміру  $l \times l$  пікселів.

**Крок 3.** Для отриманих блоків визначити відносну кількість  $k_l$  таких, що задовольняють (3).

**Крок 4.** Матриця  $F$  ЦЗ, що піддається експертизі, розбивається на непересічні  $l \times l$ -блоки, при цьому сітка розбивку зсунута відносно попередньої в напрямку  $v$  на 1 піксель.

**Крок 5.** Для отриманих блоків визначити відносну кількість  $\bar{k}_l$  таких, що задовольняють (3).

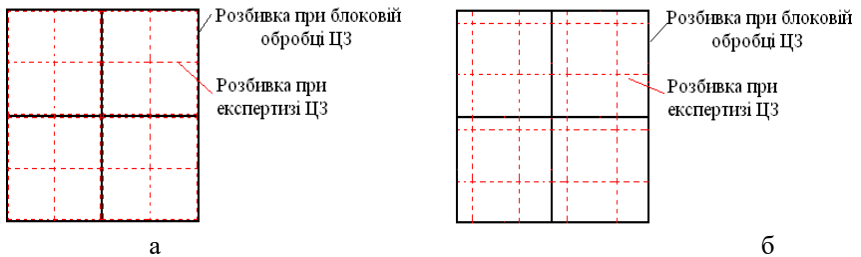


Рис. 2 – Варіанти взаємного розташування сіток розбивки матриці ЦЗ на блоки при блоковій обробці й експертизі ЦЗ: а - сітка розбивки, що використовується при експертизі ЦЗ, містить у собі сітку, використану при обробці ЦЗ; б - сітки розбивки зсунуті одна відносно іншої

**Крок 6.** Визначити

$$SM = \left| \bar{k}_l - k_l \right|.$$

**Крок 7.**

Якщо

$$SM > 1$$

то

цілісність ЦЗ порушена; перехід на крок 8,

інакше

якщо

кількість зсувів сітки не перевищує  $(l-1)$  разів

то

$$k_l = \bar{k}_l,$$

повернутися на крок 4,

інакше

цілісність ЦЗ не порушена.

### **Крок 8.** Кінець експертизи.

При алгоритмічній реалізації методу використовувалися наступні значення параметрів:  $\nu = -45^\circ$ ,  $l = 2$ ,  $m = 8$  (як найчастіше використовуваний на практиці розмір блоку при блокувій обробці ЦЗ (збереження зображення в форматах Jpeg, Jpeg2000, блокові стеганографічні методи та алгоритми [10])).

**Зауваження.** Завдяки тому, що запропонований удосконалений метод виявлення блокувій обробки ЦЗ сам є блокувим, обчислювальна складність його алгоритмічної реалізації SA<sub>u</sub> для експертизи ЦЗ з  $n \times n$ -матрицею становить  $O(n^2)$ , як і для алгоритмічної реалізації SA для методу, запропонованого в [12], але обчислювальна складність SA<sub>u</sub> максимально

може перевищувати складність SA в  $t = \frac{1}{2}(l-1)$  разів, де  $l$  – розмір квадратних блоків, що використовуються при експертизі, якщо кількість зсувів сітки розбиття при експертизі буде максимальною. Коефіцієнт  $\frac{1}{2}$

в виразі для  $t$  виникає завдяки тому, що в удосконаленому методі виявлення блокувій обробки ЦЗ аналізується лише параметр SM (4) на відміну від первісного методу [12], що говорить про розбивку матриці ЦЗ лише з одним розміром блоку при експертизі, тоді як в методі-прототипі розбивка відбувається на блоки двох розмірів, і аналізуються обидва параметри (4).

Оцінка ефективності алгоритмічної реалізації SA<sub>u</sub> методу проводилася шляхом обчислювального експерименту, в якому були задіяні:

- множина  $M_1$ : 200 ЦЗ розміром  $400 \times 400$  пікселів в форматі Tif [15];
- множина  $M_2$ : 300 ЦЗ розміром  $400 \times 400$  пікселів в форматі Tif [16];
- множина  $M_3$ : 80 ЦЗ розміром  $400 \times 400$  пікселів в форматі Tif, отриманих непрофесійними відеокамерами.

При тестуванні алгоритма SA<sub>u</sub> на першому етапі як блокува обробка розглядався стиск з втратами (збереження в формат Jpeg з коефіцієнтами якості  $QF \in Q = \{50,65,75,85,95\}$ ). Виявлення в якості блокувій обробки стиску з втратами було обрано, оскільки стиск на сьогодні – це сама поширена операція блокувій обробки ЦЗ. Результати збереження з втратами ЦЗ з множин  $M_i, i = 1,2,3$ , з коефіцієнтами

якості  $QF \in Q$  склали множини  $M_i^{(j)}, i=1,2,3, j \in Q$ , відповідно. ЦЗ в множинах  $M_i^{(j)}, i=1,2,3, j \in Q$ , піддавалися обрізці, в результаті якої початок координат зсувався від одного до 5 пікселів вздовж осі  $OX$  і від 1 до 5 пікселів вздовж  $OY$ , після чого піддавалися експертизі за допомогою алгоритмічної реалізації удосконаленого методу. Інформація щодо помилок 1-го роду наведена в табл.1. Середнє значення помилок 1-го роду по всьому експерименту – 9.4%. Помилки 2-го роду склали 10.1%.

Для зручності порівняння ефективності розробленого в роботі алгоритму  $SA_u$  із сучасними аналогами за отриманими даними були розраховані значення точності виявлення порушення цілісності [17] (accuracy (ACC)):

$$ACC = (TP + TN) / (TP + FN + TN + FP), \quad (6)$$

де  $TP$  (*True Positive*) — число правильно виявлених ЦЗ, цілісність яких була порушена (істинопозитивний результат);  $TN$  (*True Negative*) — число правильно виявлених оригінальних ЦЗ (істинонегативний результат);  $FP$  (*False Positive*) — число оригінальних ЦЗ, помилково прийнятих за такі, цілісність яких була порушена (хибнопозитивний результат (хибна тривога) або помилка другого роду);  $FN$  (*False Negative*) — число ЦЗ, цілісність яких була порушена, помилково визнаних оригінальними (хибнонегативний результат або помилка першого роду). Результати експерименту наведені в табл.1, рис.3.

Таблиця 1 – Результати оцінки ефективності розробленого алгоритму виявлення блокової обробки ЦЗ (стиску з втратами) в умовах невизначеності сітки розбивки матриці зображення при блоковій обробці

Множина	Помилки 1-го роду	ACC
$M_1^{(50)} \cup M_2^{(50)} \cup M_3^{(50)}$	11.1	0.89
$M_1^{(65)} \cup M_2^{(65)} \cup M_3^{(65)}$	9.7	0.90
$M_1^{(75)} \cup M_2^{(75)} \cup M_3^{(75)}$	9.7	0.90
$M_1^{(85)} \cup M_2^{(85)} \cup M_3^{(85)}$	6.6	0.92
$M_1^{(95)} \cup M_2^{(95)} \cup M_3^{(95)}$	9.8	0.90

Як впливає з результатів обчислювального експерименту (рис.3), алгоритмічна реалізація удосконаленого методу виявлення блокової



обробки ЦЗ внаслідок його стиску з втратами лише незначно поступається по ефективності первісному методу, значно перевищує при  $QF > 60$  по ефективності метод, запропонований в [18]. Запропонований метод може використовуватися в якості стеганоаналітичного, аналізу ефективності чого присвячений другий етап обчислювального експерименту.

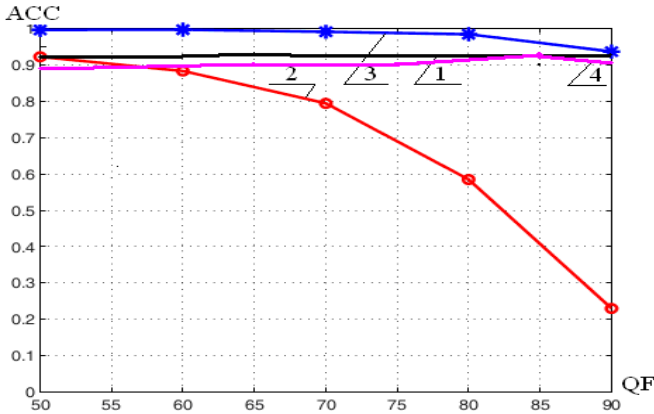


Рис. 3 – Результати виявлення наявності стиску з втратами в ЦЗ, збережених в форматі Jpeg: 1- алгоритмічна реалізація методу блокової обробки, запропонованого в [12]; 2 – алгоритм, запропонований в [18]; 3 – алгоритм, запропонований в [19]; 4 – алгоритм SAu

На сьогоднішній день одним з найпоширеніших стеганографічних методів залишається метод модифікації найменшого значущого біта – LSB-метод [10]. І хоча цей метод не є блоковим, виявлення результатів його роботи принципово можливе за допомогою розробленого удосконаленого методу у випадку, коли в якості контейнера використовується ЦЗ, яке зберігається у форматі з втратами. Найбільшу увагу тут треба звернути на забезпечення можливості детектування вкладень додаткової інформації з малою пропускнуою спроможністю прихованого каналу зв'язку (ПСПК):  $ПСПК \leq 0.1\text{біт/піксель}$ , оскільки для такої ПСПК абсолютна більшість існуючих стеганоаналітичних методів виявляються неробочими або неефективними, а частота використання LSB-методу саме з малою ПСПК сьогодні зростає. Результати оцінки ефективності SAu представлені в табл.2.

Результати порівняльного аналізу ефективності розробленого алгоритму SAu із сучасними стеганоаналітичними алгоритмами, спрямованими на виявлення LSB-вкладень, за допомогою показника

$ACC$  (7), представлені в табл.3, де використовуються позначення: SS1 (2006) [20], SS2 (2006) [21], SS3 (2008) [22], SS4 (2009) [23], SS5 (2015) [24], SS6 (2016) [25], SA [12]. Як показують отримані результати, ефективність розробленого алгоритму, як і первісного алгоритму SA, практично не залежить від величини ПСПК, при цьому він залишається ефективним в умовах, на які більшість аналогів взагалі не розрахована: при пропускній спроможності прихованого каналу зв'язку, меншій 0.05 біт/піксель (табл.3). При інший ПСПК значення параметра  $ACC$  для розробленого алгоритму SA<sub>u</sub> порівнянні зі значеннями  $ACC$  для розглянутих аналогів.

Таблиця 2 – Помилки першого роду при стеганоаналізі стеганоповідомлень, сформованих LSB-методом, розробленим алгоритмом SA<sub>u</sub> (%) в умовах обрізки ЦЗ-контейнера

Множина ЦЗ-контейнерів	Пропускна спроможність прихованого каналу зв'язку, побудованого за допомогою LSB-методу (біт/піксель)	
	0.1	0.01
$M_1^{(65)} \cup M_2^{(65)} \cup M_3^{(65)}$	8	8.8
$M_1^{(75)} \cup M_2^{(75)} \cup M_3^{(75)}$	8	9.2
$M_1^{(85)} \cup M_2^{(85)} \cup M_3^{(85)}$	6.4	6.4
Середнє значення	7.5	8.1

Таблиця 3 – Порівняння ефективності, що оцінюється за допомогою  $ACC$ , розробленого алгоритму із сучасними стеганоаналітичними алгоритмами виявлення LSB-вкладень в ЦЗ-контейнери в форматі з втратами

ПСПК, (біт/піксель)	SS1 (2006)	SS2 (2006)	SS3 (2008)	SS4 (2009)	SS5 (2015)	SS6 (2016)	SA (2019)	SA <sub>u</sub> (2019)
0.1	0.9846	0.7727	0.9943	0.9937	0.988	0.970	0.94	<b>0.92</b>
0.05	0.9769	0.6432	0.9283	0.9319	0.968	0.941	0.94	<b>0.92</b>
0.01	0.5692	0.5094	-	-	-	-	0.94	<b>0.91</b>

## ВИСНОВКИ

В роботі вирішена важлива науково-практична задача забезпечення можливості виявлення порушення цілісності ЦЗ внаслідок його блокової обробки в умовах, коли місце розташування сітки, що

використовувалася при обробці, є невідомим. В ході роботи удосконалено метод виявлення блокової обробки ЦЗ, запропонований в [12].

В ході тестування алгоритмічної реалізації методу встановлено, що в умовах виявлення наявності стиску ЦЗ з втратами (найпоширеніший вид блокової обробки) її ефективність порівнянна з ефективністю існуючих аналогів, а для метода, запропонованого в [18], значно перевищує.

При оцінці ефективності розробленого методу в якості стеганоаналітичного для виявлення вкладень додаткової інформації LSB-методом в умовах малої пропускної спроможності прихованого каналу зв'язку встановлено, що  $SA_u$  є ефективним при малій ПСПК, зокрема при ПСПК=0.01 біт/піксель значення АСС=0.91, що поступається лише алгоритму-прототипу SA, в той час, як більшість існуючих аналогів в таких умовах взагалі не працюють.

#### ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

- [1] Redi, J. A. Digital image forensics: a booklet for beginners // Multimedia Tools and Applications, 2011. – Vol. 51. – No.1. – P. 133–162.
- [2] Кобозева, А.А. Анализ информационной безопасности: монография / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко. – К.: ГУИКТ, 2009. – 251 с.
- [3] Kobozeva, A.A. General Principles of Integrity Checking of Digital Images and Application for Steganalysis // Transport and Telecommunication, 2016. – Vol. 17. – Issue 2. – P. 128–137.
- [4] Бобок, И.И. Теоретическое развитие общего подхода к проблеме выявления нарушений целостности цифровых контентов, основанного на анализе полного набора формальных параметров // Информатика та математичні методи в моделюванні, 2017. – Т.7. – №3. – С. 170–177.
- [5] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений; пер. с англ. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
- [6] Bergman, C. Unitary embedding for data hiding with the SVD // Security, steganography and watermarking of multimedia contents VII, SPIE, 2005. – Vol.5681. – P.619–630.
- [7] Nagarajan, D. Block Processing And Edge Detection For A Dicom Image // International Journal of Pure and Applied Mathematical Sciences, 2016. – Vol. 9. – No 1. – P. 9–16.
- [8] Мельник, М.А. Стеганоалгоритм, устойчивый к сжатию // Інформаційна безпека, 2012. – № 2(8). – С. 99–106.
- [9] Козіна, М.О. Метод перевірки автентичності інформації, що передається стеганографічним каналом зв'язку // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2015. – №1. – С. 99–104.
- [10] Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ: [монография]. – М.: Вузовская книга, 2009. – 220 с.

- [11] Бобок, І.І. Дослідження змін властивостей параметрів блоків цифрового зображення при блоковій обробці як основа методу виявлення порушення його цілісності // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, 2019. – №1. – С. 65–74.
- [12] Бобок, І.І. Дослідження змін властивостей параметрів блоків цифрового зображення при блоковій обробці як основа методу виявлення порушення його цілісності // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, 2019. – №2. – С. 67–75.
- [13] Гантмахер, Ф.Р. Теория матриц [Текст]: монографія. – 5-е изд. – М. : Физматлит, 2004. – 559 с.
- [14] Костирка О.В. Модифікація стійкого до збурних дій стеганоперетворення просторової області зображення-контейнера // Інформатика та математичні методи в моделюванні, 2016. – №1. – С. 85–93.
- [15] Gloe T., Böhme R. (2010). The ‘Dresden Image Database’ for benchmarking digital image forensics. Proceedings of the 25<sup>th</sup> Symposium on Applied Computing (ACM SAC 2010). Sierre, 2010. – Vol. 2. – P. 1585–1591.
- [16] Hsu, Y.-F. Detecting image splicing using geometry invariants and camera characteristics consistency // Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME’06). Toronto, 2006. – P. 549–552.
- [17] Geetha, S. Close color pair signature ensemble adaptive threshold based steganalysis for LSB embedding in digital images // Transactions on Data Privacy, 2008. – Vol.1. – Iss.3. – P. 140 – 161.
- [18] Tjoa, S. Block size forensic analysis in digital images // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. – Vol. 1. – P. I-633 – I-639.
- [19] Luo W., Huang J., Qiu G. (2009) A Novel Method for Block Size Forensics Based on Morphological Operations. In: Kim HJ., Katzenbeisser S., Ho A.T.S. (eds) Digital Watermarking, IWDW 2008. Lecture Notes in Computer Science. – vol 5450. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [20] Xiang-dong Chen. Detect LSB Steganography with Bit Plane Randomness Tests // 6-th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, 2006. – P. 10306 –10309.
- [21] Zou, D. Steganalysis based on Markov model of thresh-oldeed prediction-error image // 2006 IEEE international conference on multimedia and expo, ICME 2006 – Proceedings, 2006. – P. 1365 –1368.
- [22] Chen C. JPEG Image Steganalysis Utilizing both Intrablock and Interblock Correlations // IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Seattle, Washington, USA, 2008. – P. 3029136136 –3032.
- [23] Huang F. Calibration based universal JPEG steganalysis // Science in China series F: Information sciences, 2009. – Vol. 52. – No. 2. – P. 260 –268.
- [24] Xue, B. Steganalysis of LSB replacement for multivariate Gaussian covers // 2015 IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP), Chengdu, 2015. – P. 836 – 840.

[25] Lin, Q. Local ternary pattern based on path integral for steganalysis // 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Phoenix, AZ, 2016. – P. 2737 – 2741.

## IMPROVEMENT OF METHOD OF DETECTION OF DIGITAL PROCESSING OF DIGITAL IMAGE

**Khoroshko V., Kobozeva A., Bobok I.**

*The integrity of information is one of the criteria for its security. This makes the task of identifying integrity violations of any information content relevant if this content is used for non-entertaining purposes. The work is devoted to the analysis of the integrity of digital images. Currently, image processing is often block-based. In block processing, individual blocks are processed sequentially or in parallel. These blocks are obtained by partitioning the image matrix. Recently, the authors have developed an effective method for identifying block processing. To use the method, information is needed on the location of the grid for partitioning the image matrix during block processing. In practice, this information is most often inaccessible to an expert. This happens, for example, when cropping an image after processing it. The aim of the work is to enable the detection of block image processing when the location of the grid of the matrix splitting is unknown. The goal is achieved by improving the method for identifying block processing, which was developed earlier. The proposed improvement uses a single parameter for analysis. This parameter reflects the change in quantity blocks small size when shifting the mesh, for which the angle between the normalized vector of squares of singular numbers and the singular vector corresponding to the maximum singular number is equal to the angle between the first vector of the standard basis of the corresponding space and the  $n$ -optimal vector. The algorithm was tested under lossy image compression conditions, and also as a steganoanalytic method for LSB waveform analysis with low bandwidth of a hidden communication channel. Determined that the developed algorithm is slightly inferior in efficiency to the algorithm taken as a basis, comparable in efficiency with existing analogues.*

*Keywords. Digital image, integrity violation, image block processing, singular vector, singular number, partition grid.*