

## СТЕГАНОГРАФІЯ ТА СТЕГОАНАЛІЗ / STEGANOGRAPHY & STEGANALYSIS

DOI: [10.18372/2225-5036.24.12341](https://doi.org/10.18372/2225-5036.24.12341)

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДУ ВІДОКРЕМЛЕННЯ КЛОНУ ВІД ПРООБРАЗУ В ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ

Алла Кобозєва, Іван Бобок

Одеський національний політехнічний університет, Україна



КОБОЗЄВА Алла Анатоліївна, д.т.н.

*Освіта:* Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова.

*Посада:* завідувач кафедри інформатики та управління захистом інформаційних систем з 2009 року.

*Наукові інтереси:* інформаційна безпека, стеганографія, стеганоаналіз, обчислювальна та дискретна математика.

*Публікації:* більше 200 наукових публікацій, серед яких монографії, підручники, наукові статті, патенти.

*E-mail:* [alla\\_kobozeva@ukr.net](mailto:alla_kobozeva@ukr.net)



БОБОК Іван Ігорович, к.т.н.

*Рік та місце народження:* 1987 рік, м. Одеса, Україна.

*Освіта:* Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, 2009 рік.

*Посада:* старший викладач кафедри інформатики та управління захистом інформаційних систем з 2011 року.

*Наукові інтереси:* інформаційна безпека, стеганографія, стеганоаналіз.

*Публікації:* більше 20 наукових публікацій, серед яких монографії, статті у рецензованих вітчизняних та закордонних наукових журналах.

*E-mail:* [onu\\_metal@ukr.net](mailto:onu_metal@ukr.net)

**Анотація.** Найпоширенішим програмним інструментом при неавторизованих змінах цифрових зображень (ЦЗ) залишається клонування, при якому частина ЦЗ (прообраз) копіюється й переноситься в іншу його область, утворюючи клон. Найбільш складною та такою, що практично не має на сьогоднішній день задовільного рішення залишається задача відокремлення клону від прообразу (визначення, яка саме з виявлених спочатку областей є клоном, а яка прообразом) в умовах їх однакової обробки або при її відсутності, що на практиці часто має місце, наприклад, у випадку малих розмірів прообразу. Рішення такої задачі дозволить підвищити в цілому інформативність результатів виявлення клонування. Існуючі методи для рішення цієї задачі використовують, як правило, технологію цифрових водяних знаків, вбудовування яких у ЦЗ дозволяє контролювати процес його наступних змін, однак порушує при цьому цілісність ЦЗ. Метою роботи є розробка теоретичних основ методу відокремлення клону від прообразу, що забезпечать його ефективну роботу без використання технології цифрових водяних знаків в умовах відсутності відмінностей у наступній обробці клону й прообразу. При розробці використовується блоково орієнтований підхід. Знайдений кількісний параметр - норма відмітного околу клону/прообразу, що представляє квадратну матрицю малого розміру, елементи якої відображають відмінність блоку клону/прообразу від блоків-сусідів. Знайдений параметр дозволяє ефективно відокремлювати область клону від прообразу. Показано, що максимальна ефективність відокремлення досягається у випадку відмітного околу радіуса 1. Для блоку 32\*32 пікселя помилки не перевищують 5,5%. Наведені результати обчислювального експерименту.

**Ключові слова:** цифрове зображення, порушення цілісності, клонування, клон, прообраз, відокремлення клону від прообразу, блок, відмітний окіл.

#### Вступ

Цифрові контенти дуже щільно ввійшли в життя сучасної людини. Зараз важко уявити собі будь-яку діяльність без використання інформації, представленої в цифровому виді, серед якої значну

частину займають цифрові зображення й відео. Усе, що нас оточує, що становить інтерес або має якесь значення, найчастіше зберігається, редагується, пересилається по каналах зв'язку, викладається в мережу Інтернет у вигляді зображень або відео, отрима-

них цифровими відеокамерами, зокрема тими, що є складовими сучасних мобільних телефонів, а тому завжди знаходяться «під рукою». Однак часто змодельовані, наприклад, в Інтернеті «сенсації» є результатом несанкціонованих змін (фальсифікацій) цифрових контентів, зроблених з використанням існуючих графічних редакторів, які в даний момент є широко й легко доступними (Photoshop, Gimp і ін.). Несанкціоновані порушення цілісності цифрових зображень (ЦЗ), відео, якщо такі не будуть вчасно виявлені, можуть привести до значимих негативних наслідків як для окремо взятої людини, так і для суспільства в цілому, якщо вони використовуються, наприклад, для маніпуляцій громадською думкою, з метою опорочення того або іншого політичного, громадського діяча, з метою введення в оману тих, хто зацікавлений у розв'язку конкретних завдань (зокрема, слідчі органи) і т.д. У силу цього задача виявлення порушення цілісності інформаційних контентів, зокрема, ЦЗ, є в даний момент надзвичайно актуальною [1-5].

#### **Аналіз існуючих досліджень і постановка завдання**

Найчастіше використовуваним при фальсифікаціях ЦЗ був і залишається програмний інструмент, що називається клонуванням, реалізований у всіх сучасних графічних редакторах. У ході клонування частина ЦЗ (прообраз) копіюється й переноситься в іншу його область, замінюючи собою відповідну оригінальну частину зображення й утворюючи клон. Якщо питанню безпосереднього виявлення областей клону й прообразу приділяється багато уваги сучасними вченими, що використовують для цього два основні підходи: блоково орієнтований [1,2] і заснований на аналізі ключових точок ЦЗ [3,4], то питання відокремлення клону від прообразу (тобто визначення, яка саме з попередньо знайдених областей відповідає клону, а яка прообразу) залишається маловивченим, що, у першу чергу, пов'язано з його складністю. Наявні роботи, що присвячені цій темі, опираються, як правило, на дві ідеї: використання попереднього вбудовування в ЦЗ цифрових водяних знаків (ЦВЗ) [5] і пошук результатів постобробки клону (чи границі області клону), яка проводиться для його кращої «адаптації» у новій області ЦЗ і відрізняється від обробки прообразу, якщо така має місце [6]. Однак перший підхід сам по собі є не дуже доречним у цьому випадку, оскільки вбудовування ЦВЗ у ЦЗ формально порушить його цілісність, а другий виявляється неспроможним у випадку відсутності відмінностей в обробці клону й прообразу.

Найбільш складною і такою, що практично не має на сьогоднішній день задовільного рішення, залишається задача відокремлення клону від прообразу в умовах їх однакової постобробки або її відсутності, що на практиці часто має місце, наприклад, у випадку, коли прообраз має незначні відносні розміри. У роботі [7] був запропонований метод, що працює в зазначених умовах, однак ефективність його алгоритмічної реалізації є недостатньою, що зали-

шає задачу розробки нових методів для рішення зазначеної задачі актуальною.

**Метою** роботи є розробка теоретичних основ методу відокремлення клону від прообразу, що забезпечать його ефективну роботу без використання технології цифрових водяних знаків в умовах відсутності відмінностей в обробці клону й прообразу.

У даній роботі припускається, що області клону й прообразу в ЦЗ виявлені на попередньому етапі в результаті роботи відповідного алгоритму.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі: обґрунтувати вибір підходу для рішення задачі відокремлення клону від прообразу в ЦЗ; знайти параметр, що характеризує клон/прообраз, значення якого є різним для цих областей; визначити радіус блокового околу клону/прообразу (відмітного околу), аналіз якого приводить до найбільш ефективного відокремлення клону від прообразу.

#### **Основна частина дослідження**

Результатом роботи існуючих методів виявлення клонування є визначення областей клону й прообразу на ЦЗ, але яка зі знайдених областей є клоном, а яка прообразом, як правило, не уточнюється, хоча таке уточнення може бути дуже корисним у загальному результаті рішення задачі виявлення клонування. Наприклад, при несанкціонованому усуненні, що мало місце, об'єкта (літака) з ЦЗ (рис.1) у результаті роботи методу, запропонованого в [8], на зображенні були вірно виявлені області клону й прообразу. При цьому знання того, яка область відповідає клону, а яка прообразу, з урахуванням відомого часу знаходження літака в районі, збереженому на ЦЗ, а також місця розташування відеокамери, дасть змогу встановити час отримання даного фото, час сцени, відображеної на оригінальному ЦЗ, до того ж цей час буде різним залежно від того, яка з областей є клоном, а яка прообразом, що може бути критичним для конкретної ситуації.

Як було відзначено вище, при рішенні задачі виявлення областей клону й прообразу використовуються два основні підходи: блоково орієнтований, коли матриця ЦЗ спочатку розбивається на пересічні/непересічні блоки, і експертиза зображення відбувається шляхом аналізу отриманих блоків, і підхід, заснований на аналізі ключових точок, де ЦЗ аналізується цілком. Принципово більша точність результатів (що є ключовим моментом при виборі підходу для рішення задач даної роботи) досягається методами, що використовують перший підхід, які уступають методам, заснованим на принципах другого підходу, як правило, в обчислювальній складності. Задачею цієї роботи є аналіз вже виявлених областей клону й прообразу. З врахуванням вищесказаного цей аналіз пропонується проводити в рамках блоково орієнтованого підходу, на користь якого говорять також наступні аргументи. Ефективно аналізувати клон/прообраз цілком (наприклад, з використанням стратегії ключових точок) не представляється можливим у випадку, коли розміри цих областей малі [4], що часто має місце на практиці (наприклад, коли з ЦЗ усваються «небажані» об'єкти, частини об'єктів),

а коректування розміру блоку, що використовується при аналізі, з урахуванням розмірів областей клоуну/прообразу принципово дозволяє аналізувати їх при будь-яких розмірах.

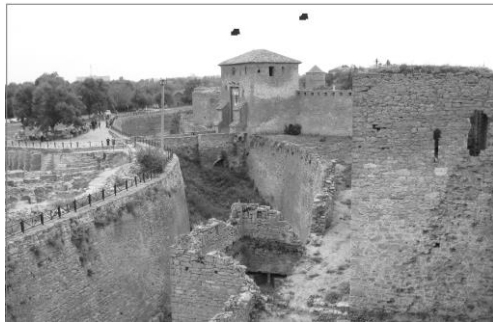


Рис.1. Результат виявлення областей клоуну й прообразу на ЦЗ методом, запропонованим в [8] (виявлені області виділені й пофарбовані в червоний колір)

Як відомо [9], у ЦЗ існує кореляція між значеннями яскравості пікселів, що знаходяться на малій відстані. З'ясуємо, наскільки швидко слабшає ця «схожість» із зростанням відстані між пікселями в оригінальному ЦЗ. Для цього в середовищі Matlab був проведений обчислювальний експеримент, у якому було задіяно 400 ЦЗ із бази NRCS [10], сукупність яких нижче будемо називати експериментальною множиною (ЕМ). У ході експерименту в кожному ЦЗ випадковим чином вибиралося по 10 квадратних блоків різного розміру. Для кожного пікселя кожного блоку, який не належав границі блоку, знаходяться від границі не менш, ніж на  $p, p \in \{1, 2, 3\}$  одиниць (сукупність таких пікселів будемо називати  $r$ -внутрішністю блоку), обчислювалися середні значення



Рис.2. Місце розташування пікселів у ЦЗ, що знаходяться від заданого пікселя, що знаходиться у позиції  $(i, j)$  в матриці зображення, на відстані  $p, p \in \{1, 2, 3\}$

З врахуванням цього в проведеному експерименті відбувалася заміна  $M_p$  на  $\bar{M}_p$  наступним чином:

- при оцінці зміни «схожості» значень яскравості пікселів, що відбувається при переході від  $p = 1$  до  $p = 2$  матриця  $M_2$  розміру  $(1-4) \times (1-4)$  залишалася без змін:  $\bar{M}_2 = M_2$ , а для отримання з  $(1-2) \times (1-2)$ -матриці  $M_1$  матриці  $\bar{M}_1$  розміру  $(1-4) \times (1-4)$  з  $M_1$  усувалися перший і останній рядки, перший і останній стовпці;

- при оцінці зміни «схожості» значень яскравості пікселів при переході від  $p = 1$  до  $p = 3$  матриця

модуля різниці його значення й пікселів-сусідів, що знаходяться від нього на відстані  $p$ , до того ж це були не тільки безпосередні сусіди (знизу, зверху, ліворуч, праворуч), але й сусіди в напрямках діагоналей матриці (рис.2). Ці значення заносилися на позиції, що відповідають розглянутому пікселю, в  $(1-2p) \times (1-2p)$ -матриці  $M_p$ , які ставилися у відповідність кожному конкретному обраному  $1 \times 1$ -блоку В ЦЗ, після чого для отриманих матриць обчислювалися їхні норми, що дозволяють отримати оцінку відмінності пікселів від їхніх сусідів, що знаходяться на відстані  $p$ , у межах всього блоку в цілому. Чим менше норма матриці  $M_p$ , яка побудована при конкретному значенні  $p$ , тим менше відмінність між пікселями по всьому блоку в цілому (по  $r$ -внутрішності блоку) на відповідній відстані  $p$ , що розглядається, тим більше «схожість» між значеннями яскравості пікселів.

Встановлено, що в межах ЦЗ (обраного блоку ЦЗ) при збільшенні значення  $p$  між пікселями всього лише на одиницю, «схожість» між ними, яка кількісно оцінюється  $\|M_p\|$ , значно зменшується за рахунок росту норми відповідної матриці, до того ж якісний (найбільш значний) стрибок цього зменшення відповідає переходу від  $p = 1$  до  $p = 2$ . Тут необхідно відзначити, що для коректного порівняння значень  $\|M_p\|$  при різних  $p$  матриці  $M_p$  повинні бути одного розміру (відображати відмінності одних і тих самих пікселів ЦЗ від тих, що знаходяться на різних відстанях від них, у межах блоку).

- $M_3$  розміру  $(1-6) \times (1-6)$  залишалася без змін:  $\bar{M}_3 = M_3$ , а для отримання  $\bar{M}_1$  відповідного розміру з  $M_1$  усувалися два перші й два останні рядки, два перші й два останні стовпці;

- при переході від  $p = 2$  до  $p = 3$  матриця  $\bar{M}_3 = M_3$ , для отримання  $\bar{M}_2$  з  $M_2$  усувалися перший і останній рядки, перший і останній стовпці.

У загальному випадку має місце наступне співвідношення:

$$\|\bar{M}_1\| \ll \|\bar{M}_2\| < \|\bar{M}_3\|, \quad (1)$$

при цьому в середньому по проведеному експерименту  $\|\bar{M}_2\|$  більше в порівнянні з  $\|\bar{M}_1\|$  на 14%, а  $\|\bar{M}_3\|$  -

на 19%; при порівнянні  $\|\overline{M}_2\|, \|\overline{M}_3\|$  в середньому збільшення  $\|\overline{M}_3\|$  відбувається на 5%. Зауважимо, що відповідно до вищесказаного в нерівності (1) одна й та сама матриця  $\overline{M}_p$  має різні розміри залежно від того, яка частина цієї нерівності розглядається.

Проілюструємо отримані результати на прикладі обраного випадково  $8 \times 8$ -блока В оригінальної частини ЦЗ, що представлено на рис.1:

$$B = \begin{pmatrix} 48 & 42 & 56 & 55 & 43 & 36 & 40 & 44 \\ 46 & 51 & 73 & 59 & 51 & 45 & 47 & 48 \\ 42 & 53 & 64 & 63 & 58 & 44 & 29 & 26 \\ 30 & 36 & 35 & 41 & 46 & 46 & 41 & 38 \\ 51 & 48 & 53 & 60 & 64 & 81 & 81 & 51 \\ 53 & 57 & 62 & 55 & 52 & 56 & 52 & 35 \\ 47 & 45 & 38 & 41 & 39 & 39 & 37 & 26 \\ 34 & 41 & 48 & 57 & 44 & 33 & 37 & 33 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для кожного елемента  $b_{ij}, i, j = \overline{3,6}$ , матриці В обчислимо середнє значення модуля різниці його значення й елементів, що знаходяться від нього на відстані  $p=1, p=2$ , сформувавши з обчислених значень дві  $4 \times 4$ -матриці  $\overline{M}_1$  і  $\overline{M}_2$  відповідно:

$$\overline{M}_1 = \begin{pmatrix} 14,8750 & 12,3750 & 10,1250 & 5,8750 \\ 17,2500 & 15,8750 & 12,8750 & 15,5000 \\ 9,2500 & 10,5000 & 13,6250 & 26,2500 \\ 12,3750 & 9,1250 & 11,6250 & 14,8750 \end{pmatrix},$$

$$G_1 = \begin{pmatrix} 0 & 17,047 & 40,7922 & 37,8153 & 29,9333 & 37,1349 & 36,9459 & 33,2566 \\ 17,2047 & 0 & 30,8221 & 27,8927 & 21,2603 & 37,9868 & 42,6028 & 40,7922 \\ 40,7922 & 30,8221 & 0 & 20,5426 & 32,3728 & 52,4500 & 56,5597 & 57,6541 \\ 37,8153 & 27,8927 & 20,5426 & 0 & 21,3542 & 44,3283 & 48,8979 & 53,8702 \\ 29,9333 & 21,2603 & 32,3728 & 21,3542 & 0 & 26,5895 & 35,1141 & 42,9651 \\ 37,1349 & 37,9868 & 52,4500 & 44,3283 & 26,5895 & 0 & 17,4929 & 44,3959 \\ 36,9459 & 42,6028 & 56,5597 & 48,8979 & 35,1141 & 17,4929 & 0 & 36,8917 \\ 33,2566 & 40,7922 & 57,6541 & 53,8702 & 42,9651 & 44,3959 & 36,8917 & 0 \end{pmatrix},$$

$$G_2 = \begin{pmatrix} 0 & 24,4949 & 31,9218 & 33,8083 & 65,3835 & 31,4960 & 29,7993 & 26,1246 \\ 24,4949 & 0 & 31,2250 & 49,1019 & 55,3624 & 23,1948 & 48,4768 & 37,2961 \\ 31,9218 & 31,2250 & 0 & 36,8402 & 70,4982 & 31,5436 & 41,2189 & 30,4959 \\ 33,8083 & 49,1019 & 36,8402 & 0 & 47,7348 & 46,4866 & 25,2389 & 26,0768 \\ 65,3835 & 55,3624 & 70,4982 & 47,7348 & 0 & 45,3542 & 74,5721 & 73,0479 \\ 31,4960 & 23,1948 & 31,5436 & 46,4866 & 45,3542 & 0 & 41,4246 & 40,4846 \\ 29,7993 & 48,4768 & 41,2189 & 25,2389 & 74,5721 & 41,4246 & 0 & 25,5147 \\ 26,1246 & 37,2961 & 30,4959 & 26,0768 & 73,0479 & 40,4846 & 25,5147 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для отриманих  $G_1$  і  $G_2$  має місце наступна властивість, що є типовою для таких (що визначаються співвідношеннями (3)) матриць, як свідчить проведений обчислювальний експеримент з ЦЗ із ЕМ, подібний описаному вище: в  $i$ -му рядку (стовпці)  $G_1$  і  $G_2$  елементи, сусідні з діагональними, для більшості рядків (стовпців) менше інших елементів цього рядка (стовпця), тобто найменше відрізняються один від одного в сенсі значення норми їх різниці в більшості випадків стовпці (рядки), що знаходяться поруч. Звідси випливає висновок, який має важливе значення для задачі, що розглядається в роботі: заміна стовпця (стовпців) оригінального ЦЗ (блоку ЦЗ) на інші стовпці нехай цього ж зображення приведе

$$\overline{M}_2 = \begin{pmatrix} 14,4375 & 14,5625 & 13,7500 & 12,8750 \\ 18,7500 & 13,9375 & 11,6875 & 8,3125 \\ 8,5000 & 13,0000 & 17,6250 & 38,3750 \\ 17,3750 & 11,8125 & 10,6875 & 13,8750 \end{pmatrix}.$$

Очевидно, що більш цілісно й наочно отримана картина виглядає при порівнянні норм отриманих матриць:

$$\|\overline{M}_1\| = 54,1 < \|\overline{M}_2\| = 61,9,$$

що ілюструє значно більшу «схожість» у цілому значень пікселів, що знаходяться від даного на відстані 1, ніж на відстані 2. Як наслідок (з урахуванням використання далі блоково орієнтованого підходу) маємо: відмінність між рядками (стовпцями), що знаходяться поруч, у матриці (блоці матриці) оригінального ЦЗ є меншою, ніж між рядками (стовпцями), відстань між якими більше 1, де відмінність між згаданими складовими матриці визначається в сенсі векторної норми їх різниці. Ілюстрацією даного твердження може служити наступний приклад. Для розглянутого блоку В (2) побудуємо  $8 \times 8$ -матриці  $G_1$  і  $G_2$ , що є симетричними, з елементами  $g_{ij}^{(1)}, g_{ij}^{(2)}, i, j = \overline{1,8}$ , відповідно, при цьому:

$$g_{ij}^{(1)} = \|B(:,i) - B(:,j)\|, \quad g_{ij}^{(2)} = \|B(i,:) - B(j,:)\|, \quad (3)$$

де  $B(:,i)$  -  $i$ -ий стовпець, а  $B(i,:)$ ,  $i = \overline{1,8}$  -  $i$ -ий рядок В. Для (2) маємо:

до втрати такої особливості для стовпців, що стоять поряд, коли вони відповідають оригінальній й неоригінальній області ЦЗ. Аналогічний висновок можна зробити для рядків матриці (блоку матриці).

Розглянемо як неоригінальну область ЦЗ клон. При клонуванні відбувається «розрив зв'язків» між сусідніми пікселями для області клону (пікселями, що лежать на границі області), а для області прообразу нічого не зміниться. Розрив існуючих зв'язків з урахуванням всього вищевикладеного з великою ймовірністю приведе до того, що для клону, який замінить собою оригінальну область ЦЗ, відмінність між значеннями його граничних пікселів і пікселів, що є тепер безпосередніми сусідами, але належать оригінальній частині ЦЗ, буде більше, ніж між від-

повідними їм пікселями прообразу і їх безпосередніми сусідами в оригінальній області ЦЗ.

З урахуванням використання блоково орієнтованого підходу для розв'язку поставленої задачі припустимо, що клону  $\bar{V}$  і прообразу відповідають по одному  $1 \times 1$ -блоку  $\bar{V}$  і  $\bar{V}$ , для яких невідомо, де саме клон, а де прообраз. Назвемо відмітним околом довільного блоку  $V$  ЦЗ радіуса  $k$   $(2k+1) \times (2k+1)$ -матрицю, елементи якої відображають відмінність  $V$  від блоків ЦЗ, що знаходяться від  $V$  на відстані, що не перевищує  $k$ . При цьому сусідами блоку  $V$ , що знаходяться від нього на відстані  $k$ , назвемо блоки ЦЗ, місця розташування яких отримуються шляхом зсуву  $V$  на  $k$  пікселів вправо, вліво, вгору, вниз, вздовж головної і побічної діагоналей (вгору, вниз). Так блок, що не лежить на границі ЦЗ, має 8 сусідів на відстані 1 та максимально 16 сусідніх блоків на відстані 2.

Оскільки кореляція значень яскравості найбільше проявляється для пікселів, для яких  $p=1$  (і знижується навіть при мінімальному збільшенні  $p$ ), а також для рядків/стовпців матриці ЦЗ (блоку матриці), що стоять поруч (сусідніх), то з врахуванням усього вищесказаного висувається наступна гіпотеза: норма відмітного околу малого радіуса блоку-клону повинна бути більше норми відмітного околу відповідного блоку-прообразу того ж радіуса у випадку, якщо клон і прообраз не обробляються або обробляються однаково, що дозволить відокремити клон від прообразу у таких умовах.

Для перевірки висунутої гіпотези був проведений обчислювальний експеримент, у якому були задіяні ЦЗ з ЕМ. У ході експерименту оригінальні ЦЗ піддавалися клонуванню, де як прообраз використовувався  $1 \times 1$ -блок,  $l \in \{8, 16, 24, 32\}$ , після чого клоноване ЦЗ зберігалось у форматі без втрат (Tif) або піддавалось додатковим збурним діям (постобробці), у якості яких розглядалися: стиск із втратами (збереження у форматі Jpeg з різними коефіцієнтами якос-

ті QF), накладання різних шумів з різними параметрами, комплексні збурні дії. Для отриманих таким чином ЦЗ області клону  $\bar{V}$  і прообразу вважалися вже виявленими -  $\bar{V}$  і  $\bar{V}$ . Кожному з блоків  $\bar{V}$  і  $\bar{V}$  ставилися у відповідність відмітні околи цих блоків  $\bar{O}^{(1)}, \bar{O}^{(1)}$  (радіуса 1) і  $\bar{O}^{(2)}, \bar{O}^{(2)}$  (радіуса 2) відповідно (хоча вже тут можна з великою ймовірністю очікувати, що окіл радіуса 2 буде менш чутливим при заміні оригінальної частини ЦЗ на клон, ніж радіуса 1). Очевидно, що  $\bar{O}^{(1)} \begin{pmatrix} \bar{O}^{(1)} \\ \bar{O}^{(1)} \end{pmatrix}$  є підматрицею  $\bar{O}^{(2)} \begin{pmatrix} \bar{O}^{(2)} \\ \bar{O}^{(2)} \end{pmatrix}$ .

Відмінність між будь-якими блоками  $V^{(1)}, V^{(2)}$  ЦЗ визначимо подібно тому, як це зроблено в методі виявлення результатів клонування в зображенні, запропонованому в [8], ефективність якого перевищує ефективність сучасних аналогів:  $\sum_{t,p=1}^l r_{tp}$ , де  $r_{tp}, t, p = \bar{1}, \bar{l}$ , - елементи  $l \times l$ -матриці  $R$ ,  $R = |B^{(1)} - B^{(2)}|$ .

Для блоків  $\bar{V}$  і  $\bar{V}$  у ході експерименту обчислювалися норми  $\bar{O}^{(1)}, \bar{O}^{(1)}$ . Клоном вважався той блок, норма відмітного околу якого була більше. Аналогічні дії робилися для  $\bar{O}^{(2)}, \bar{O}^{(2)}$ .

Результати обчислювального експерименту, що підтверджують висунуту гіпотезу, наведені в табл.1,2, де зазначена кількість помилок визначалася відносною кількістю ЦЗ (вираженою у відсотках від загальної кількості проаналізованих зображень), де клон і прообраз були відокремлені не вірно.

Як показують результати обчислювального експерименту, використання як числового параметру норми відмітного околу попередньо виявлених блоків клону/прообразу дозволяє ефективно відокремлювати ці області, визначаючи, яка саме з них є клоном, а яка прообразом.

Відносна кількість (%) помилок при відокремленні клону від прообразу в умовах збереження клонованого ЦЗ без втрат (Tif), а також з втратами (Jpeg) з різними коефіцієнтами якості (QF)

Таблиця 1

Розмір клону/прообразу		8×8		16×16		24×24		32×32	
k		1	2	1	2	1	2	1	2
Формат збереження клонованого ЦЗ	Tif	2,5	9,5	2	10,5	0,5	8	0	3
	QF=95	2	9	3	11,5	0,5	8	0,5	1
	QF=85	4,5	10	4,5	11	4	7,5	2	3
	QF=75	9,5	14	10,5	15	6,5	11,5	2,5	5
	QF=65	12	16,5	13,5	16,5	7	8,5	4	5,5

Відносна кількість (%) помилок при відокремленні клону від прообразу в умовах різних збурних дій

Таблиця 2

Розмір клону/прообразу	Додаткова збурна дія на ЦЗ після здійснення клонування							
	Гауссівський шум з нульовим математичним очікуванням і дисперсією D				Мультиплікативний шум з дисперсією D			
	D=0,0001		D=0,0005		D=0,0005		D=0,001	
	Формат збереження ЦЗ після накладання шуму		Формат збереження ЦЗ після накладання шуму		Формат збереження ЦЗ після накладання шуму		Формат збереження ЦЗ після накладання шуму	
	Tif	Jpeg (QF=75)	Tif	Jpeg (QF=75)	Tif	Jpeg (QF=75)	Tif	Jpeg (QF=75)
	k	k	k	k	k	k	k	k

	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
16×16	3	11	7	14	3,5	12	8	15	3	11	7	14	4	12,5	10	15
32×32	0,5	4,5	3,5	6	1	5,5	5,5	7,5	0,5	4	4	6,5	1	5	4	7

Як і очікувалося, більш інформативним є відмітний окіл блоку клону/прообразу радіуса 1, який й буде використовуватися згодом при розробці методу відокремлення клону від прообразу в ЦЗ. З зростанням сили збурної дії кількість помилок при відокремленні клону від прообразу зростає, із збільшенням розміру клону/прообразу кількість помилок зменшується, що також знаходиться в повній відповідності з вищесказаним.

### Висновки

У роботі вирішена актуальна науково-практична задача розробки теоретичних основ для методу відокремлення клону від прообразу в ЦЗ, що були виявлені на попередньому етапі експертизи зображення, які не включають технологію цифрових водяних знаків, спрямовані на забезпечення ефективної роботи відповідного методу в умовах відсутності відмінностей у постобробці клону й прообразу.

У ході розробки використовувався блоково орієнтований підхід. Знайдений кількісний параметр - норма відмітного околу клону/прообразу, який дозволяє ефективно відокремлювати ці області у випадку, коли кожна з них представляє із себе 1×1- блок. Показано, що максимальна ефективність відокремлення досягається у випадку радіуса відмітного околу, що дорівнює 1. Тут кількість помилок для блоку клону/прообразу розміром 32×32 пікселя становить від 0 до 4% залежно від характеру й сили збурної дії, що визначається її параметрами. Для блоків меншого розміру при значних збурних діях, використаних при постобробці клонованого ЦЗ, помилки можуть досягати 13,5%. Однак єдиний з аналогів [7], інформація про який доступна з відкритих джерел, при роботі в аналогічних умовах дає значно більшу похибку - більше 20%. При розробці відповідного методу відокремлення клону від прообразу, заснованого на порівнянні норм відмітних околів відповідних блоків цих попередньо виявлених областей, над чим зараз працюють автори, основна проблема буде пов'язана з оцінкою точності визначення границь клону й прообразу.

### УДК 004.056.5 (045)

#### **Кобозева А.А., Бобок И.И. Теоретические основы метода отделения клона от прообраза в цифровом изображении**

**Аннотация.** Наиболее широко используемым программным инструментом при неавторизованных изменениях цифровых изображений (ЦИ) остается клонирование, при котором часть ЦИ (прообраз) копируется и переносится в другую его область, образуя клон. Наиболее сложной и практически не имеющей на сегодняшний день удовлетворительного решения остается задача отделения клона от прообраза (определения, какая именно из предварительно выявленных областей является клоном (прообразом)) в условиях их одинаковой обработки или при ее отсутствии, что на практике часто имеет место, например, в случае малых размеров прообраза. Решение такой задачи позволит повысить в целом информативность результатов выявления клонирования. Существующие методы для решения этой задачи используют, как правило, технологию цифровых водяных знаков, внедрение которых в ЦИ позволяют контролировать процесс его последующих несанкционированных изменений, однако нарушая при этом целостность ЦИ. Целью работы является разработка теоретических основ метода отделения клона от прообраза, обеспечивающих его эффективную работу без использования технологии цифровых водяных знаков, в условиях отсутствия отличий в последующей обработке клона и прообраза. При разработке используется блоковоориентированный подход. Найден количественный параметр – норма отличительной окрест-

### Література

- [1] D. Cozzolino, «Efficient dense-field copy-move forgery detection», *IEEE Transaction on Information Forensics and Security*, Vol. 10, No. 11, pp. 1-14, 2015.
- [2] Manish Deoli, Jyoti Joshi, «A Fast and Robust Approach to Detect Copy-Move Forgery in Digital Images», *International Journal of Computer Applications Volume*, Vol. 137, No. 5, pp. 29-33, 2016.
- [3] N. Anantharaj, «Tampering and Copy-Move Forgery Detection Using Sift Feature», *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Vol.2, Iss. 1, pp. 2132-2137, 2014.
- [4] C. Prerna, J. Percy Granaph, S. Angaline., I.Thanga Belsi, «A keypoint based copy-move forgery detection», *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, Vol. 12, No. 12, pp. 234-245, 2013.
- [5] А.А. Кобозева, И.И. Бобок, Л.М. Дзюбинская, «Выявление нарушений целостности цифрового изображения путем использования стеганографических алгоритмов», *Информатика та математичні методи в моделюванні*, Т.5, №2, с. 129-134, 2015.
- [6] Е.Ю. Лебедева, «Метод локализации и идентификации оригинальной и клонированной областей изображения», *Информатика та математичні методи в моделюванні*, Том 4, №1, с. 76 - 84, 2014.
- [7] И.И. Бобок, «Метод відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні в умовах відсутності відмінностей при їх постобробці», *Информатика та математичні методи в моделюванні*, Т.7, №4, с. 298-307, 2017.
- [8] С.М. Григоренко, «Розвиток методу виявлення клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій», *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*, Вип. 1(31), с. 85-98, 2016.
- [9] Р. Гонсалес, Р. Вудс, *Цифровая обработка изображений*, М.: Техносфера, 1070 с., 2006.
- [10] NRCS Photo Gallery, United States Department of Agriculture. Washington, USA. URL: <http://photogallery.nrcs.usda.gov>.

ности клона/прообраза, представляющей из себя квадратную матрицу малого размера, элементы которой отражают отличие блока клона/прообраза от блоков-соседей. Найденный параметр позволяет эффективно отделять область клона от прообраза. Показано, что максимальная эффективность отделения достигается в случае отличительной окрестности радиуса 1. Для блока 32\*32 пикселя ошибки не превосходят 5,5%. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

**Ключевые слова:** цифровое изображение, нарушение целостности, клонирование, клон, прообраз, отделение клона от прообраза, блок, отличительная окрестность.

**Kobozeva A., Bobok I. Theoretical foundations for the method of separating the clone from the prototype in a digital image**

**Abstract.** If digital images, digital video are used for an unattractive purpose, then unauthorized violations of their integrity can lead to negative consequences for an individual, for society as a whole. Therefore, the task of detecting the violation of the integrity of information content, in particular, digital images, which are considered in the work, is extremely relevant. Cloning is most often used for unauthorized changes of digital images. Cloning is the process by which a part of the image (prototype) is copied and transferred to its other area. So the clone is formed. The problem of separating the clone from the prototype is the most difficult. If the clone and the prototype are processed equally or not processed at all, then this problem does not have a satisfactory solution at this moment. The solution of such a problem will make it possible to increase the informative value of the results of cloning detection. The existing methods for solving this problem use, as a rule, the technology of digital watermarks. The introduction of a digital watermark into an image allows you to monitor the process of its subsequent unauthorized changes, but it breaks the integrity of the image. The aim of the work is to develop the theoretical foundations for the method of separating the clone from the prototype. This method should not use digital watermark technology. It must be effective under conditions where the clone and the prototype are treated identically. Theoretical bases use a block-oriented approach. A quantitative parameter is found in the work, which makes it possible to effectively separate the clone region from the prototype. This parameter is the norm of the distinctive neighborhood of the clone/prototype. A distinctive neighborhood is a square matrix of small size. Elements of this matrix reflect the difference of the clone/prototype block from the neighboring blocks in the image. The maximum efficiency of separating the clone from the prototype is achieved when the radius of the distinctive neighborhood is 1. The results of the computational experiment are presented.

The errors do not exceed 5,5% for a 32\*32 pixel block in conditions of saving a cloned image in lossless format (Tif), as well as with losses (Jpeg) with different quality factors. The errors do not exceed 7,5% in conditions of complex disturbances.

**Key words:** digital image, integrity violation, cloning, clone, prototype, separation of the clone from the prototype, block, distinctive outskirt.

---

Отримано 02 лютого 2018 року, затверджено редколегією 15 березня 2018 року

---