

Захист інформації в інформаційних комунікаційних системах

УДК 004.056.5

С.М. Григоренко

Одеський національний політехнічний університет, Одеса

КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ВІДМІННОСТЕЙ ОРИГІНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ВІД ЗОБРАЖЕННЯ, ЩО ПІДДАЛОСЯ КЛОНУВАННЮ, В УМОВАХ ЗБЕРЕЖЕННЯ У ФОРМАТІ ІЗ ВТРАТАМИ

У роботі визначені кількісні параметри для цифрового зображення, що дозволяють відокремлювати оригінальне зображення від такого, яке було піддано операції клонування в умовах збереження у форматі із втратами з різними коефіцієнтами якості. Основним об'єктом аналізу є матриця G , елементи якої відображають зв'язок між всіма можливими парами блоків матриці зображення. Встановлено, що кількість K елементів матриці G , значення яких дорівнює значенню її глобального мінімуму, різна у випадках наявності/відсутності клонування для переважної більшості протестованих цифрових зображень, а тому може використовуватися для розподілу оригінальних і змінених зображень при збереженні останніх з втратами з коефіцієнтом якості $QF \in \{25, \dots, 95\}$. Додаткових досліджень потребує випадок, коли $K = 1$. Запропоновано процедуру проведення цих додаткових досліджень.

Ключові слова: цифрове зображення, клонування, формат із втратами, коефіцієнт якості.

Вступ

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток інформаційних технологій привів до створення специфічних програмних продуктів, таких як, наприклад, графічні редактори Adobe Photoshop, Gimp і ін., що дозволяють змінювати оригінальні цифрові контенти, зокрема, цифрові зображення (ЦЗ) настільки якісно, що виявити ці зміни або навіть просто зробити висновок про наявність порушення цілісності стає все складніше й складніше. Однак при використанні цифрових контентів з метою, що відрізняється від розважальної, зокрема, як речовинні докази в судових розглядах, необхідно бути впевненим у відсутності їх будь-яких несанкціонованих змін. Інакше використання згаданих контентів може привести до негативних наслідків. Все це робить надзвичайно актуальним на сьогоднішній день забезпечення можливості проведення якісної експертизи будь-якого інформаційного контенту, у тому числі ЦЗ, що підтверджує його оригінальність або констатує наявність порушення цілісності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Разом з розвитком методів, можливостей, використовуваних для модифікації ЦЗ, які й розглядаються далі в роботі в якості інформаційних контентів, розвиваються й методи, що дозволяють ці зміни виявляти, локалізувати, робити висновок про цілісність зображення [1 – 5].

Одним з найбільш часто використовуваних при неавторизованій зміні ЦЗ інструментів є клонування, реалізоване у всіх графічних редакторах. При

клонуванні частина ЦЗ, яка далі називається прообразом, копіюється й вставляється в область того ж ЦЗ, відмінну від первісної, замінюючи собою відповідну оригінальну частину зображення. Задача виявлення клонування має свої особливості в порівнянні з, на перший погляд, схожою задачею виявлення фотомонтажу, результатом якого є комбінація в межах одного нового ЦЗ частин різних зображень. При виявленні фотомонтажу, як правило, шукаються невідповідності між характеристиками різних частин ЦЗ, наприклад, між напрямками джерела світла при одержанні зображення [6], невідповідність у ступені розмиття областей зображень, що використовуються у фотомонтажі [7]. Для того, щоб приховати останнє, змінене ЦЗ часто розмивається цілком. У цьому випадку на порушення цілісності вказує сам факт розмиття [8], що, звичайно, не дає можливості локалізувати область порушення цілісності оригінального зображення до його постобробки, і т.д. Практично жоден з розглянутих методів не може застосовуватися для виявлення клонованих областей, де задача ускладнюється використанням одного ЦЗ.

У даний момент існують різні методи виявлення клонування в ЦЗ, засновані на різних математичних базисах [4, 5, 9, 10], однак вони не дають можливості стверджувати, що задача вирішена повністю. Зокрема, питання виявлення областей клону й прообразу в умовах збереження зміненого ЦЗ у форматі із втратами в загальному випадку залишається відкритим. Хоча в [4, 9, 10] і декларується застосовність розроблених там методів в умовах стиску ЦЗ, методи, запропоновані в

[4, 9], виявляються неефективними у випадку, коли область клонування не містить контурів, а метод, розроблений в [10], ефективний у випадку лише незначного стиску зміненого зображення.

В [11] запропоновані теоретичні основи нового підходу до рішення задачі виявлення результатів клонування в ЦЗ, збереженому після зміни у форматі із втратами. Дана робота є черговим кроком одного з авторів [11] по шляху створення відповідного методу.

Формулювання мети статті. В [11] були виявлені характерні якісні відмінності для сум елементів матриць абсолютної різниці пар різних блоків матриці зображення, що дозволяють виділити область клону і його прообразу в умовах збереження зміненого ЦЗ у форматі із втратами.

Метою даної роботи є отримання кількісних оцінок згаданих відмінностей для їх наступного використання в процесі розробки методу виявлення результатів клонування для ЦЗ, збережених із втратами (з довільним коефіцієнтом якості).

Як формат з втратами в роботі розглядається найпоширеніший сьогодні для зображень формат Jpeg, для якого коефіцієнт якості QF може приймати значення від 0 до 100.

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

1. Вибрати спосіб фіксації відмінностей сум елементів матриць абсолютної різниці пар різних блоків матриці зображення, що дозволить відокремити блоки, що належать області клону й прообразу, від всіх інших.

2. Оцінити кількісно можливі значення сум елементів матриць абсолютної різниці пар різних блоків матриці зображення у випадку, коли блоки відповідають областям клону й прообразу, в умовах стиску зміненого ЦЗ з різними коефіцієнтами якості.

3. Оцінити кількісно можливі значення сум елементів матриць абсолютної різниці пар різних блоків матриці зображення у випадку, коли блоки не належать областям клону й прообразу.

4. Визначити додаткові кількісні параметри ЦЗ, значення яких доцільно використовувати для рішення поставленої задачі.

Виклад основного матеріалу

Формальним представленням кольорового ЦЗ у будь-якому форматі є скінчена множина двовимірних матриць, для монохромного ЦЗ така матриця одна. Не обмежуючи спільності міркувань, для простоти викладу будемо вважати, що зображення представляється у вигляді однієї $n \times m$ – матриці F (у випадку кольорового зображення – це одна з колірних компонентів або матриця яскравості).

При збереженні ЦЗ, що піддалося клонуванню, у форматі без втрат і наступної постобробки, областям клону й прообразу (у припущенні тут і далі їхнього неперетинання) відповідають однакові части-

ни матриці F . Збереження зображення із втратами це співпадіння порушить. Однак таке порушення не може привести до значних відмінностей відповідних частин матриці зображення. Дійсно, проведення стиску із прийнятними коефіцієнтами якості (що не приводять до виникнення артефактів) не змінює інформаційний зміст зображення: його однакові частини такими зорво і залишаються (рис. 1). Саме ця ідея стала основною для розробки нового підходу до задачі виявлення клонування в [11].



а



б



в

Рис. 1. Ілюстрація незалежності зорового сприйняття клонованої області від формату збереження зміненого ЦЗ: а – оригінальне ЦЗ; б – результат проведеного клонування, збережений у форматі без втрат (Tif); в – результат проведеного клонування, збережений у форматі із втратами (Jpeg)

Припустимо, що розміри клону/прообразу такі, що ці області містять у собі цілком $q \times q$ – блок. Кількість таких різних блоків у матриці ЦЗ визначається числом $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$. Будемо позначати такі блоки V_{ij} , $i = \overline{1, n - q + 1}$, $j = \overline{1, m - q + 1}$. По аналогії з [11], поставимо у відповідність кожному такому блоку V_{ij} аналізованого ЦЗ двовимірну матри-

що зв'язку $M^{(i,j)}$ з елементами $m^{(i,j)}_{k,l}$, $k = \overline{1, n-q+1}$, $l = \overline{1, m-q+1}$. При цьому елемент $m^{(i,j)}_{k,l}$ відображає зв'язок блоків V_{ij} і V_{kl} в наступному сенсі: $m^{(i,j)}_{k,l} = \sum_{t,p=1}^q r_{tp}$, де r_{tp} , $t, p = \overline{1, q}$ – елементи матриці R , яка отримана наступним чином:

$$R = |V_{ij} - V_{kl}|. \quad (1)$$

Для кожної $M^{(i,j)}$ елемент $m^{(i,j)}_{ij} = 0$, оскільки відображає зв'язок блоку V_{ij} з самим собою. Це найменший локальний мінімум матриці R , який є її глобальним мінімумом. Якщо ЦЗ піддалося клонуванню, і блок V_{ij} належить області клону/прообразу, то наступним за значенням локальним мінімумом матриці $M^{(i,j)}$ буде елемент $m^{(i,j)}_{kl}$ для V_{kl} , що належить області прообразу/клону [11]. Для того, щоб тривіальний глобальний мінімум $M^{(i,j)}$, який дорівнює 0, «не заважав» при знаходженні блоку клону/прообразу, значення $m^{(i,j)}_{ij}$ і восьми елементів $M^{(i,j)}$, що є найближчими сусідами $m^{(i,j)}_{ij}$, штучно робляться такими, що дорівнюють великому значенню. Змінену матрицю $M^{(i,j)}$ позначимо $\overline{M}^{(i,j)}$. Як витікає з вищесказаного, для $\overline{M}^{(i,j)}$ у випадку V_{ij} з області клону/прообразу глобальний мінімум з високою ймовірністю відповідає блоку з області прообразу/клону. Якщо V_{ij} не належить області клону/прообразу, то описана вище операція зміни елементів $M^{(i,j)}$ приведе до того, що глобальним мінімумом $\overline{M}^{(i,j)}$ буде другий за значенням локальний мінімум вхідної матриці $M^{(i,j)}$, що відповідає блоку, що найменше відрізняється від V_{ij} в сенсі (1) в аналізованій матриці.

Поставимо матриці аналізованого ЦЗ у відповідність $(n-q+1) \times (m-q+1)$ -матрицю G з елементами g_{ij} , $i = \overline{1, n-q+1}$, $j = \overline{1, m-q+1}$, які визначаються наступним чином:

$$g_{ij} = \min \overline{M}^{(i,j)}, \quad i = \overline{1, n-q+1}, \quad j = \overline{1, m-q+1}.$$

Якщо ЦЗ піддалося операції клонування, то логічно припустити, що після збереження його із втратами блоки, що відповідають клону й прообразу, будуть відрізнятися між собою менше, ніж будь-яка інша пара блоків ЦЗ, оскільки до стиску вони були ідентичні. На користь цієї гіпотези говорить також наступне. Шляхом обчислювального експерименту було встановлено, що в оригінальному ЦЗ не зустрічаються співпадаючі за значеннями непересічні $q \times q$ -блоки, де $q \in \{16, 24, 32\}$: ні для одного ЦЗ

матриця G не містила нулів. Таким чином, величина глобального мінімуму матриці G може розглядатися як один з кількісних параметрів, які дозволять відокремити оригінальне ЦЗ від того, яке піддалося клонуванню й збереженню із втратами.

Для оцінки співвідношення значень глобального мінімуму G при наявності клону/прообразу в ЦЗ і аналогічного параметра для оригінального ЦЗ був проведений обчислювальний експеримент, у якому були задіяні 200 ЦЗ (експериментальна множина зображень (ЕМЗ)) із традиційної при тестуванні методів, що працюють з ЦЗ, бази NRCS [12], які в ході експерименту піддавалися клонуванню (область клону становила один $q \times q$ -блок ($q \in \{16, 24, 32\}$)) з наступним збереженням у форматі Jpeg з різними коефіцієнтами якості $QF \in \{65, 75, 85, 95\}$. Такі коефіцієнти якості на цьому етапі досліджень були обрані як найбільш імовірні при збереженні зміненого ЦЗ порушником, оскільки вони забезпечують найбільш прийнятне співвідношення «якість - розмір» [13], а збереження ЦЗ із коефіцієнтом $QF < 65$ може саме по собі викликати підозри експерта, у чому порушник не зацікавлений. Результати знайшли своє відображення в табл. 1, 2.

З наведених у табл. 1, 2 результатів видно, що якщо для середніх значень глобального мінімуму матриці G по всім ЦЗ із ЕМЗ є строге відокремлення значень для ЦЗ, що піддавалися клонуванню, від оригінальних, то для одного конкретного ЦЗ цей розподіл не є очевидним у загальному випадку (див. табл. 2): глобальний мінімум G для оригінального ЦЗ може виявитися менше, ніж глобальний мінімум для іншого зображення, підданого клонуванню, хоча для конкретного ЦЗ, як правило, глобальний мінімум G оригінального ЦЗ більше глобального мінімуму G для цього ж зображення після обробки й перезбереження з втратами. Таким чином, врахування тільки значення глобального мінімуму G у загальному випадку буде недостатнім для здійснення відокремлення оригінального ЦЗ від зміненого.

З урахуванням способу формування матриці G , ґрунтуючись на теоретичних міркуваннях з [11], висувається наступна гіпотеза. Для (переважної більшості) ЦЗ, підданих операції клонування, G повинна мати 2, якщо клон єдиний, і T , якщо клонування одного прообразу зроблено T разів, елементів, що співпадають за значенням з глобальним мінімумом G , оскільки для блоків V_{ij} і V_{kl} , що відповідають клону й прообразу, глобальні мінімуми відповідних їм матриць $\overline{M}^{(i,j)}$ і $\overline{M}^{(k,l)}$ очевидно будуть співпадати. Місця розташування згаданих елементів в G і вкажуть на відповідні місця розташування блоків клону й прообразу в зображенні. Для (переважної більшості) оригінальних ЦЗ кількість елементів у відповідній матриці G , що дорів-

нують її мінімуму, повинна бути рівною одиниці.

Для практичної перевірки висунутої гіпотези були проведені обчислювальні експерименти, один із яких будувався наступним чином. Для оригінальних ЦЗ із ЕМЗ для різних значень розміру блоку $q \in \{16, 24, 32\}$ будувалися матриці G , для яких знаходилися кількість і місця розташування елементів, що співпадають зі значенням глобального мінімуму G . При $q = 32$ 78%, при $q = 24$ – 69%, при $q = 16$ – 64% всіх протестованих ЦЗ мали в відповідній матриці G

по одному елементу з максимальним значенням. Матриця G для інших ЦЗ мала два елементи, що дорівнювали значенню її глобального мінімуму, однак це співпадіння спостерігалось для елементів, місця розташування яких відрізнялися на 1 (вліво, вправо, вгору, вниз), що, з урахуванням вимоги неперетинання областей клону й прообразу, також не могло трактуватися як наявність таких. У жодному оригінальному ЦЗ не були виявлені непересічні $q \times q$ – блоки, які б давали дублювання глобального мінімуму в матриці G .

Таблиця 1

Середнє значення глобального мінімуму матриці G по всіх ЦЗз ЕМЗ

Розмір блоку	Коефіцієнт якості QF, що використовується при збереженні ЦЗ у формат Jpeg після здійснення клонування				Оригінальні ЦЗ
	QF = 95	QF = 85	QF = 75	QF = 65	
32×32	895	1882	2461	2875	10051
24×24	649	1328	1713	1940	5155
16×16	391	803	986	1094	1859

Таблиця 2

Максимальні й мінімальні значення глобального мінімуму матриці G для різних варіантів ЦЗ при різних розмірах блоку

Розмір блоку	Максимальне значення глобального мінімуму матриці G по всіх ЦЗ, що піддалися операції клонування				Мінімальне значення глобального мінімуму G по всім оригінальним ЦЗ з ЕМЗ
	Коефіцієнт якості QF, що використовується при збереженні ЦЗ у формат Jpeg після здійснення клонування				
	QF = 95	QF = 85	QF = 75	QF = 65	
32×32	978	2384	3238	3767	1541
24×24	780	1815	2350	2629	1116
16×16	453	1138	1532	1679	437

З врахуванням вищесказаного, кількість K співпадаючих за значенням елементів матриці G , що дорівнюють глобальному мінімуму, яка використовується як кількісний параметр для виявлення ЦЗ, що піддалися клонуванню й перезбереженню з втратами, дозволяє вирішувати поставлену задачу незалежно від значення QF (включаючи випадки $QF < 65$, хоча при такому коефіцієнті якості значення глобального мінімуму G для більшої частини змінених ЦЗ перевищують мінімальне значення глобального мінімуму матриці G по всім оригінальним ЦЗ з ЕМЗ (див. табл. 2)): якщо $K > 1$, при цьому блоки, що відповідають глобальному мінімуму, є непересічними, робиться висновок про проведення у ЦЗ клонування й установлюються місця розташування блоків клону/прообразу.

Наочна ілюстрація зробленого висновку, коли область клону/прообразу містить один $q \times q$ – блок ($q = 16$), наведена на рис. 2 для конкретного ЦЗ (для наочності наведена частина зображення) з ЕМЗ. Блокам клону/прообразу відповідають на рис. 2, (б, в, г) виражені глобальні мінімуми, відсутні на оригінальному зображенні (рис. 2, а). Результати обчислювального експерименту, у якому були

здіяні ЦЗ, які піддалися клонуванню з областю клону/прообразу, що відповідає одному $q \times q$ – блоку, $q \in \{16, 24, 32\}$, з наступним перезбереженням із втратами ($QF < 65$), де вхідні ЦЗ бралися з ЕМЗ, представлені в табл. 3.

При проведенні обчислювального експерименту, у якому були здійснені ЦЗ, піддані операції клонування, для відповідних матриць G у деяких випадках мала місце ситуація, коли глобальному мінімуму відповідав лише один елемент G , або два елементи, але їхні місця розташування відрізнялися на 1 (ситуація, аналогічна оригінальному ЦЗ). Така картина спостерігалась для ЦЗ, що мають певну специфіку (рис. 3 (клонування навмисно зроблено наочним)): це відбувалося в тому випадку, коли ЦЗ мало структуру, близьку до «періодичної»; матриці його блоків були близькі за відповідними значеннями, а перенесення якого-небудь блоку в іншу область такого ЦЗ заміняло там оригінальний блок, матриця якого виявлялася дуже близькою за значеннями до матриці прообразу. У цьому випадку після стиску із втратами ЦЗ, підданого клонуванню, глобальний мінімум в G міг відповідати блокам, які не були частинами клону/прообразу.

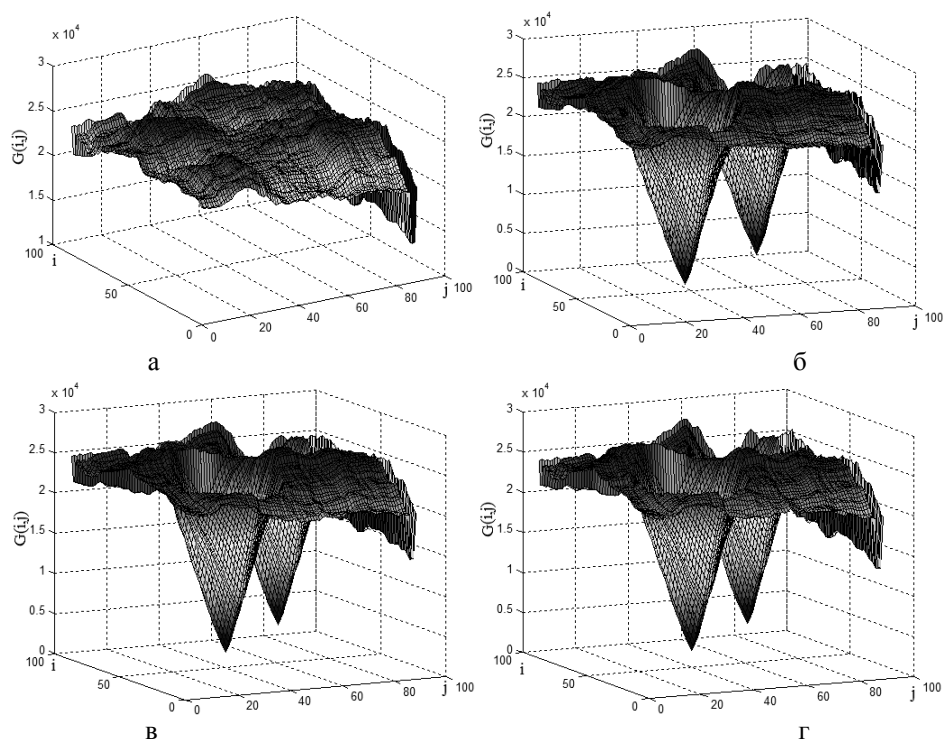


Рис. 2. Візуалізація матриці G для конкретного ЦЗ: а – оригінальне ЦЗ; б – результат проведеного клонування, збережений у форматі Jpegз QF=85; в – результат проведеного клонування, збережений у форматіJpegз QF=75; г – результат проведеного клонування, збережений у форматі Jpegз QF=55

Таблиця 3

Кількість виявлених з урахуванням значення K ЦЗ, підданих клонуванню й Perezбереженню в Jpeg, із правильно локалізованою областю клону/прообразу (%)

Розмір блоку	Коефіцієнт QF, який використовувався при збереженні ЦЗ після здійснення клонування			
	25	35	45	55
32×32	85	90	95	95
24×24	85	92	92	93
16×16	80	82	90	90

Зауважимо, що така ситуація на практиці є малоймовірною: як правило, використання клонування має своєю метою приховування яких-небудь наявних на зображенні об'єктів або їхнє дублювання (можливо в зміненому виді, що в даній роботі не розглядається).

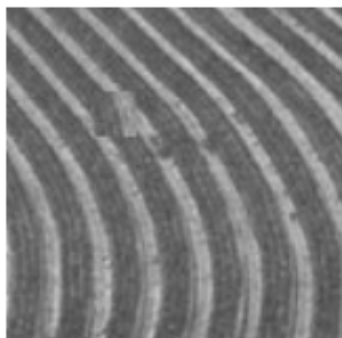


Рис. 3. Приклад ЦЗ, підданого клонуванню й збереженого у форматі із втратами, для якого матриця G містить єдиний елемент, значення якого співпадає зі значенням глобального мінімуму

Однак потенційна можливість такої ситуації приводить до необхідності додаткових досліджень у випадку, коли глобальний мінімум G досягається в одному елементі, або в декількох, місця розташування яких відрізняються на одиницю.

Додатковий аналіз у цьому випадку може бути зведений до наступного. Пропонується знайдений глобальний мінімум піддати операції, аналогічній той, що описана вище для тривіального глобального мінімуму матриці $M^{(i,j)}$, і для зміненої матриці G , яку позначимо \bar{G} , знайти глобальний мінімум. Як показав проведений обчислювальний експеримент, в 67% випадків (коли $K=1$ або $K=2$, але місця розташування відповідних елементів в G відрізнялися на 1) це привело до позитивного результату: для клону й прообразу їхні блоки визначалися з використанням \bar{G} вірно, глобальний мінімум \bar{G} дублювався. Для оригінальних ЦЗ така операція приводила до того, що для \bar{G} повторювалася картина, що є специфічною для оригінального ЦЗ. Для покращення результату описаний процес можна повторити для \bar{G} .

Висновки

У роботі визначені кількісні параметри ЦЗ, що дозволяють відокремлювати оригінальне зображення від такого, яке було піддано операції клонування в умовах наступного збереження у форматі із втратами. Основним об'єктом аналізу є матриця G , яка ставиться у відповідність матриці ЦЗ, що відобра-

жає зв'язок між її блоками. Отримано кількісні оцінки значень глобальних мінімумів G , що відображають мінімальні значення сум елементів матриць абсолютної різниці всіляких пар блоків матриці зображення у випадку, коли блоки відповідають областям клону й прообразу, в умовах стиску зміненого ЦЗ із втратами з різними коефіцієнтами якості, а також у випадку оригінального ЦЗ. Встановлено, що значення глобального мінімуму G у загальному випадку буде недостатнім для здійснення відокремлення оригінального ЦЗ від зміненого шляхом клонування й збереження із втратами. Як додатковий обраний параметр K – кількість співпадаючих за значенням елементів матриці G , що дорівнюють її глобальному мінімуму. Якщо $K > 1$, при цьому блоки ЦЗ, що відповідають глобальному мінімуму G , є непересічними, робиться висновок про проведену у ЦЗ клонуванні й встановлюються місця розташування блоків клону/прообразу. Значення $K = 1$ потребує додаткових досліджень.

Отримані результати будуть використані для розробки відповідного методу, що вирішує розглянуту в роботі задачу, над чим зараз і зосереджені зусилля автора.

Список літератури

1. Кобозева А.А. Общие принципы построения методов выявления нарушения целостности цифрового изображения / А.А. Кобозева // Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах: монография / под ред. В.С. Пономаренко. – Х.: Вид-во ТОВ «Шедра Садиба Плюс», 2015. – 486 с.
2. Fan J. Modeling the exif-image correlation for image manipulation detection / J. Fan, A.C. Kot, H. Cao, F. Sattar // International Conference on Image Processing. – 2011. – P. 1945-1948.
3. Riess C. Scene illumination as an indicator of image manipulation / C. Riess, E. Angelopoulou // International Conference on Information Hiding. – 2010. – С. 66-80.
4. Kotkar Pooja S. Detecting Region Duplication Forgery in Digital Image using SIFT Features / Pooja S. Kotkar, S.S. Shriramwar // International Journal of Current Engineering and Technology. – 2014. – Т.4. – №3. – С.1437-1440.
5. Кобозева А.А. Основы метода выявления клонированных участков изображения, подвергнутых коррекции цвета / А.А. Кобозева, Е.Ю. Лебедева // Збірник наукових праць ВІКНУ. – 2013. – №44. – С. 96-102.
6. Johnson M.K. Exposing digital forgeries through specular highlights on the eye / M.K. Johnson, H. Farid // 9th Int. Conf. on Information. – 2007. – Т. 4567. – С. 311-325.
7. Кольцов П.П. Оценка размытия изображения / П.П. Кольцов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т.35, №1. – С. 95-102.
8. Mokritskiy V.A. Detection of digital image blurring traces / V.A. Mokritskiy, V.V. Zorilo // Информатика та мат. методи в моделюванні. – 2011. – №3, Т.1. – С. 220-228.
9. Huang H. Detection of copy-move forgery in digital images using SIFT algorithm / H. Huang, W. Guo, Y. Zhang // IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intell. and Industrial Application. – 2008. – Vol. 2. – P. 272-276.
10. Myna A.N. Detection of region duplication forgery in digital images using wavelets and log-polar mapping / A.N. Myna, M.G. Venkateshmurthy, C.G. Patil // Int. Conf. Comp. Intelligence and Multimedia App. – 2007. – Vol. 3. – P. 371-377.
11. Кобозева А.А. Теоретические основы нового подхода к решению задачи выявления результатов клонирования в цифровом изображении, сохраненном в формате с потерями / А.А. Кобозева, С.Н. Григоренко // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2015. – Т.17, №4. – С. 21-30.
12. NRCS Photo Gallery: [Електронний ресурс] // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Режим доступу: <http://photogallery.nrcs.usda.gov>.
13. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.

Надійшла до редколегії 22.03.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Борисенко, Сумський державний університет, Суми.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОТЛИЧИЙ ОРИГИНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОДВЕРГНУТОГО КЛОНИРОВАНИЮ, В УСЛОВИЯХ СОХРАНЕНИЯ В ФОРМАТЕ С ПОТЕРЯМИ

С.Н. Григоренко

В работе определены количественные параметры для цифрового изображения, позволяющие отделять оригинальное изображение от такого, которое было подвергнуто операции клонирования в условиях сохранения в формате с потерями с различными коэффициентами качества. Основным объектом анализа является матрица G , элементы которой отражают связь между всевозможными парами блоков матрицы изображения. Установлено, что количество K элементов матрицы G , значения которых совпадают со значением ее глобального минимума, различно в случаях наличия/отсутствия клонирования для подавляющего большинства протестированных цифровых изображений, а потому может использоваться для разделения оригинальных и измененных изображений при сохранении последних с потерями с коэффициентом качества $QF \in \{25, \dots, 95\}$. Дополнительных исследований требует случай, когда $K=1$. Предложена процедура проведения этих исследований.

Ключевые слова: цифровое изображение, клонирование, формат с потерями, коэффициент качества.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENCES BETWEEN ORIGINAL DIGITAL IMAGE AND IMAGES SUBJECTED TO CLONING, BY SAVING IMAGE WITH A LOSSY FORMAT

S.N. Grygorenko

In this paper it was defined the quantitative parameters for the digital image, allowing to allocate the original image from the image that has been subjected to cloning operation by saving image with a lossy format with different quality factors. The main analysis object is a matrix whose elements reflect the the connection between all possible pairs of the image matrix blocks. It was found that the number of elements of the matrix, the values of which coincides with the value of its global minimum differently in cases of presence / absence of cloning for the vast majority for tested digital images, therefore can be used for the separation the original and modified images by saving the last with quality ratio losses. Additional research needs a case where $K=1$. It was proposed a procedure for carrying out these researches.

Keywords: digital image, cloning, lossy format, quality factor.