

**ВИЯВЛЕННЯ ЛОКАЛЬНОГО ПОРУШЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ЦИФРОВОГО
ЗОБРАЖЕННЯ****В.О. Хорошко¹, І.І. Бобок²**

¹Національний авіаційний університет,
пр-т Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна;
²Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: onu_metal@ukr.net

На практиці порушення цілісності цифрового зображення (ЦЗ) часто відбувається локально, у межах якоїсь (невеликої) області. Такі локальні зміни відбуваються, як правило, внаслідок клонування або фотомонтажу, при цьому при клонуванні порушення цілісності має місце локально лише в області клону (при відсутності якої-небудь додаткової обробки ЦЗ), тому актуальною є задача відокремлення клону від прообразу, яка не має на цей час задовільного рішення. В відкритих джерелах відсутня інформація про методи, алгоритми, які б дозволили виявити область клону в умовах його геометричних перетворень (ГП): відбиття відносно вертикальної або/і горизонтальної осі, повороту на кут, кратний 90 градусам, відбиття відносно діагоналі (головної, побічної) відповідної матриці, яким клон часто піддається на практиці. Метою є підвищення інформативності результатів виявлення локальних порушень цілісності ЦЗ шляхом розробки методу відокремлення області клону від області прообразу малого розміру в ЦЗ в умовах ГП клону. Розроблений в роботі метод заснований на забезпеченні незалежності міри відмінності відповідних блоків клону і прообразу від ГП клону шляхом використання в якості цієї міри відмінності сингулярних чисел блоків, враховуючи те, що сингулярні числа блоку не змінюються при його згаданих ГП. В результаті дослідження властивостей матриць мінімальних блокових відмінностей околів клону/прообразу малого радіуса визначені параметри цих матриць, які дозволяють відокремити клон від прообразу в умовах ГП клону: максимальні значення елементів згаданих матриць та значення, які найчастіше приймаються їх елементами. При оцінці алгоритмічної реалізації розробленого методу при виявленні клону, лінійні розміри якого порівнянні з $l=4, 8, 16$, кількість помилок склала 10.8, 11.2, 13% відповідно.

Ключові слова: цифрове зображення, локальне порушення цілісності, клонування, клон, прообраз, сингулярні числа, матриця мінімальних блокових відмінностей

Вступ

Цілісність поряд з доступністю і конфіденційністю є основною категорією стандартної моделі безпеки будь-якого інформаційного контенту [1], зокрема цифрового зображення (ЦЗ).

На практиці порушення цілісності ЦЗ часто відбувається локально, в межах якоїсь (невеликої) області, не змінюючи ніяк інші його частини. Такі локальні зміни відбуваються, як правило, внаслідок клонування [2,3] або фотомонтажу [4,5]. І якщо розв'язок питання виявленням фотомонтажу чітко вказує на область порушення цілісності – «чужу» для зображення, що піддається експертизі, то в результаті виявлення результатів клонування визначаються області клону й прообразу, причому, як правило, без відокремлення однієї від іншої. Але в останньому випадку порушення цілісності відбувається локально лише в області клону (при відсутності будь-якої додаткової обробки ЦЗ), а область прообразу залишається оригінальною, тому виявлення порушення цілісності тут – це не тільки визначення областей клону й прообразу, але й відокремлення однієї від іншої. І якщо задачі виявлення областей

клону й прообразу приділяється багато уваги в сучасному науковому світі, то друга задача в силу своєї складності залишається маловивченою.

Існуючі нечисленні методи для розв'язку задачі відокремлення клону від прообразу, інформація про які є доступною з відкритих джерел, ґрунтуються на двох принципово різних підходах до організації такого відокремлення.

Перший підхід ґрунтується на використанні цифрових водяних знаків (ЦВЗ), які вбудовуються у ЦЗ для організації його захисту від несанкціонованого порушення цілісності [6,7], як правило, стійкими до атак проти вбудованого повідомлення стеганоалгоритмами. Цей підхід дозволяє ефективно відокремлювати клон від прообразу, коли розміри цих областей не є дуже малими в абсолютному сенсі, але у світлі проблеми виявлення порушень цілісності ЦЗ, що розв'язується в роботі, не є шуканим в силу наступної основної причини: на формальному рівні процес вбудови ЦВЗ сам по собі порушує цілісність оригінального зображення.



а



б

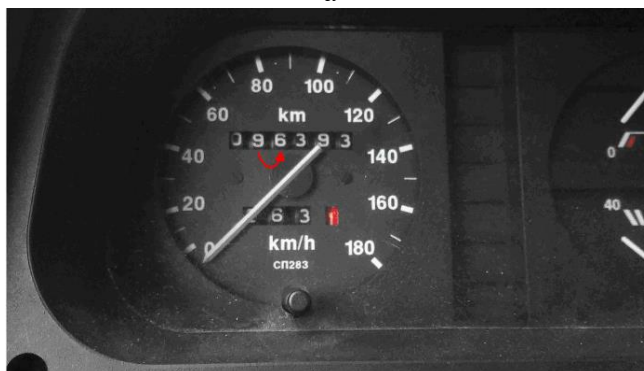
Рис. 1. Ілюстрація можливості здійснення клонування в ЦЗ без використання будь-якої постобробки клону: а – оригінальне ЦЗ; б – ЦЗ, що отримано в результаті клонування

Другий підхід базується на виявленні відмінностей у результатах обробки клону й прообразу [8], яка може застосовуватися при клонуванні. При проведенні клонування області клону/прообразу можуть бути різних абсолютних/відносних розмірів. Якщо область клону значна (у порівнянні з усім ЦЗ), то в такому випадку практично

достовірною подією буде деяка обробка клону (повністю або частково (наприклад, розмиття по контуру)) для його «візуальної адаптації» у новій для нього області ЦЗ. Виявлення такої обробки й буде непрямим показчиком на клон, дозволяючи його відокремити від прообразу. Саме виявлення результатів розмиття по контуру і є непрямим показчиком на клон в [8]. Але якщо розміри клону малі, то його додаткова обробка може бути взагалі відсутньою, оскільки при малих розмірах вона, частіше за все, не потрібна для «візуальної адаптації» клону (рис.1(б) – у результаті клонування з ЦЗ усунуто прапор, після чого ЦЗ без будь-якої постобробки збережено без втрат (Tif); артефакти на ЦЗ не виявлені). Для такого випадку запропоновані методи відокремлення клону від прообразу в [9,10]. Але часто при несанкціонованих змінах ЦЗ, що робляться з нерозважальними цілями, клон піддається деяким геометричним перетворенням без зміни безпосередніх значень елементів відповідної частини матриці та зміни розмірів: відбиттю відносно вертикальної або/і горизонтальної осі (рис. 2), повороту на кут, кратний 90 градусам, відбиттю відносно діагоналі (головної, побічної) відповідної матриці. Саме ці геометричні перетворення нижче будемо позначати ГП. Геометричні перетворення клону часто мають значеннєву необхідність для зацікавленої сторони (рис.2), наслідком чого при невиявленні можуть стати фінансові збитки підприємства, фірми, банку, прийняття хибного рішення в судових розслідуваннях тощо. Для випадку наявності ГП клону в відкритих джерелах не знайдено жодного методу (алгоритму) для відокремлення клону від прообразу, що залишає задачу, яка розглядається, актуальною.



а



б

Рис. 2. Ілюстрація проведення клонування в ЦЗ з попередньою обробкою клону: а – оригінальне ЦЗ; б – результат проведеного клонування, у ході якого клон був підданий послідовному відбиттю щодо горизонтальної й вертикальної осей

Мета статті та постановка досліджень

Метою роботи є підвищення інформативності результатів виявлення локальних порушень цілісності ЦЗ шляхом розробки методу відокремлення області клону від області прообразу малого розміру в ЦЗ в умовах ГП.

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

- визначити можливості забезпечення незалежності міри відмінності відповідних блоків клону і прообразу від ГП клону;
- дослідити властивості матриць мінімальних блокових відмінностей околів клону/прообразу малого радіуса при різних принципах формування елементів цих матриць для забезпечення можливості відокремлення клону від прообразу в умовах ГП клону з урахуванням відмінностей в цих властивостях;
- розробити метод відокремлення області клону від області прообразу малого розміру в ЦЗ в умовах ГП клону та його алгоритмічну реалізацію;
- провести оцінку ефективності алгоритмічної реалізації розробленого методу.

Основна частина

Нещодавно в [10] був запропонований метод *KPM* відокремлення клону від прообразу малих абсолютних розмірів в умовах відсутності відмінностей при їх постобробці, зокрема в умовах відсутності будь-яких додаткових до клонування збурних дій, заснований на аналізі матриць мінімальних блокових відмінностей (ММБВ) для виявлених попередньо областей клону і прообразу. ММБВ ставиться у відповідність аналізованому зображенню (можливо частині зображення) за наступним правилом [11,12]. Нехай F - $n \times m$ -матриця ЦЗ, для аналізу якого використовуються блоки розміру $l \times l$. Кожному елементу f_{ij} , $i = \overline{1, n-l+1}$, $j = \overline{1, m-l+1}$, матриці F ставиться в співвідношення $l \times l$ -блок B_{ij} , який є підматрицею F , для якого на місці (1,1) знаходиться елемент f_{ij} . Елементи g_{ij} $(n-l+1) \times (m-l+1)$ -ММБВ G , яка ставиться в співвідношення ЦЗ, відображають величину найменшої відмінності $l \times l$ -блоку B_{ij} від будь-якого іншого $l \times l$ -блоку B_{kl} матриці F в сенсі величини

$$\sum_{t,p=1}^l r_{tp}, \quad (1)$$

де r_{tp} , $t, p = \overline{1, l}$, — елементи $l \times l$ -матриці R ,

$$R = |B_{ij} - B_{kl}| \quad (2)$$

співвідношення (2) розуміється в поелементному сенсі.

Основна ідея методу *KPM* полягала в використанні встановленого в [10] факту, що для значного числа ЦЗ, що зазнали клонування з малою областю клону, графіки функцій, що інтерполюють елементи ММБВ, які побудовані для околів незначного радіуса для областей клону і прообразу, мають специфічний вигляд у випадку клону, визначаючи блок клону (або блок, що відповідає пікселю, який відстоїть від пікселя, що відповідає блоку клону, на 1,2,3 позиції) як локальний (глобальний) максимум (рис. 3(а)), що взагалі не має місця в випадку прообразу (рис. 3(б)). Але співвідношення (1), (2) за своїм змістом є такими, що ефективно працюють лише в умовах відсутності відмінностей в постобробці клону і прообразу [11,12]. При наявності геометричних перетворень клону, що не стосуються прообразу, метод *KPM*, використовуючи (1), (2) для побудови ММБВ, не в змозі бути систематично відокремлювати клон від прообразу.

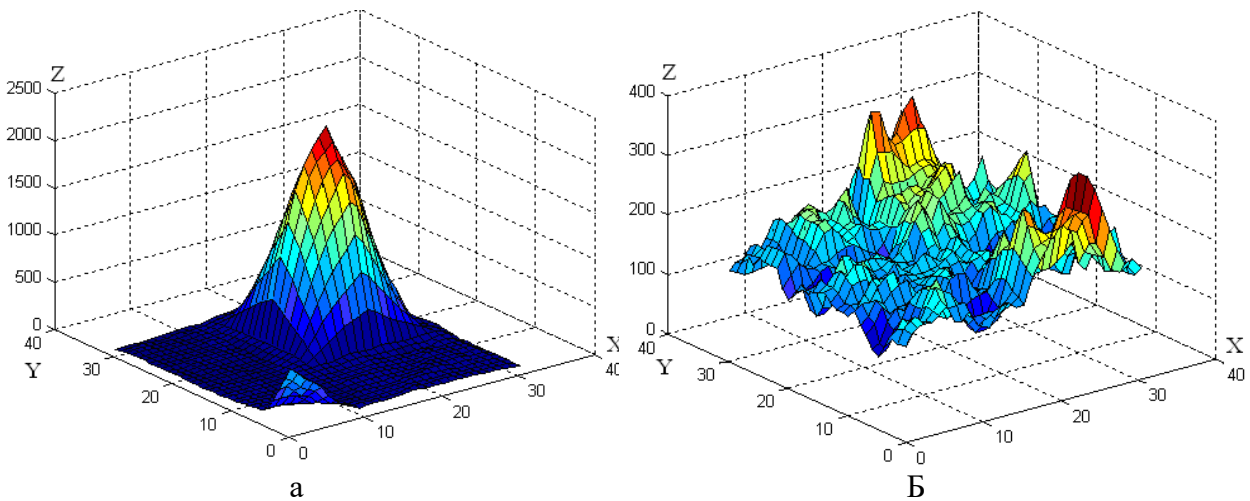


Рис. 3. Типовий вигляд графіків функцій, що інтерполюють елементи ММБВ, для околів клону й прообразу ЦЗ: а – ММБВ для околу клону, б – ММБВ для околу прообразу

В [13] нещодавно було доведено, що сингулярний спектр (множина сингулярних чисел (СНЧ)) квадратної матриці не змінюється при зазначених вище ГП, що робить доцільним використання при формуванні ММБВ для кількісної характеристики відмінності між блоками матриці ЦЗ замість (1), (2), відмінність їх сингулярних спектрів (у деякому сенсі). Побудована за запропонованим принципом ММБВ теоретично має властивості, аналогічні тим, що були їй притаманні у первісному варіанті [11,12], однак її елементи тепер належать множині дійсних, а не цілих чисел. Це приведе до значного впливу округлень на результати обчислень у системі чисел з плаваючою точкою. З врахуванням цього в [14] в якості кількісного показника відмінності блоків з залученням їх сингулярних спектрів, що використовується при побудові ММБВ G відповідного розміру з елементами g_{ij} , пропонується наступний:

$$g_{ij} = \min_{B_1} \left(\text{round} \left(\sum_{i=1}^l |\sigma_i(B) - \sigma_i(B_1)| \right) \right), \quad (3)$$

де функція $\text{round}(\cdot)$ округлює аргумент до найближчого цілого значення, g_{ij} несе в собі інформацію про найменшу відмінність конкретного блоку B , який відповідає елементу f_{ij} матриці (підматриці) F , від будь-якого іншого блоку B_1 матриці (підматриці) F .

Як показано в [14], елементи матриці G , що побудовані відповідно до (1), (2), мають значення, що (часто значно) перевищують елементи G , побудовані за правилом (3). Це приводить до деяких негативних наслідків, які не дозволяють простою заміною в методі КРМ принципу побудови ММБВ отримати метод відокремлення клону від прообразу в умовах ГП клону. А саме, часто порушується картина локального (глобального) максимуму для функції, що інтерполює елементи ММБВ в околі клону, який визначає блок клону, ілюстрація якої представлена на рисунку 3(а). Це є очікуваним і пояснюється наступним чином. Елементи ММБВ за принципом (3)

будуються по значенням СНЧ відповідних блоків – $\sum_{i=1}^l |\sigma_i(B) - \sigma_i(B_1)|$, які є дійсними числами і обчислюються в системі чисел з плаваючою точкою, маючи в своєму остаточному значенні накопичену обчислювальну похибку. Ця похибка може відіграти ключову роль при виконанні округлення $\text{round} \left(\sum_{i=1}^l |\sigma_i(B) - \sigma_i(B_1)| \right)$, оскільки елементи

ММБВ у випадку (3) незначно відрізняються один від одного, руйнуючи картину локального (глобального) максимуму (рис. 4(а) – значення $G(5,5)$ не є локальним максимумом ММБВ, оскільки в його околі радіуса 1 є елементи, що перевищують $G(5,5)$ (всього) на (1). І хоча для переважної більшості ЦЗ картина залишиться такою, як і повинна (рис. 5(а,б)), можливість попередньої ситуації значно збільшує кількість помилок при відокремленні клону від прообразу, якщо в *KPM* просто замінити (1), (2) на (3), в порівнянні з *KPM* в первісному вигляді.

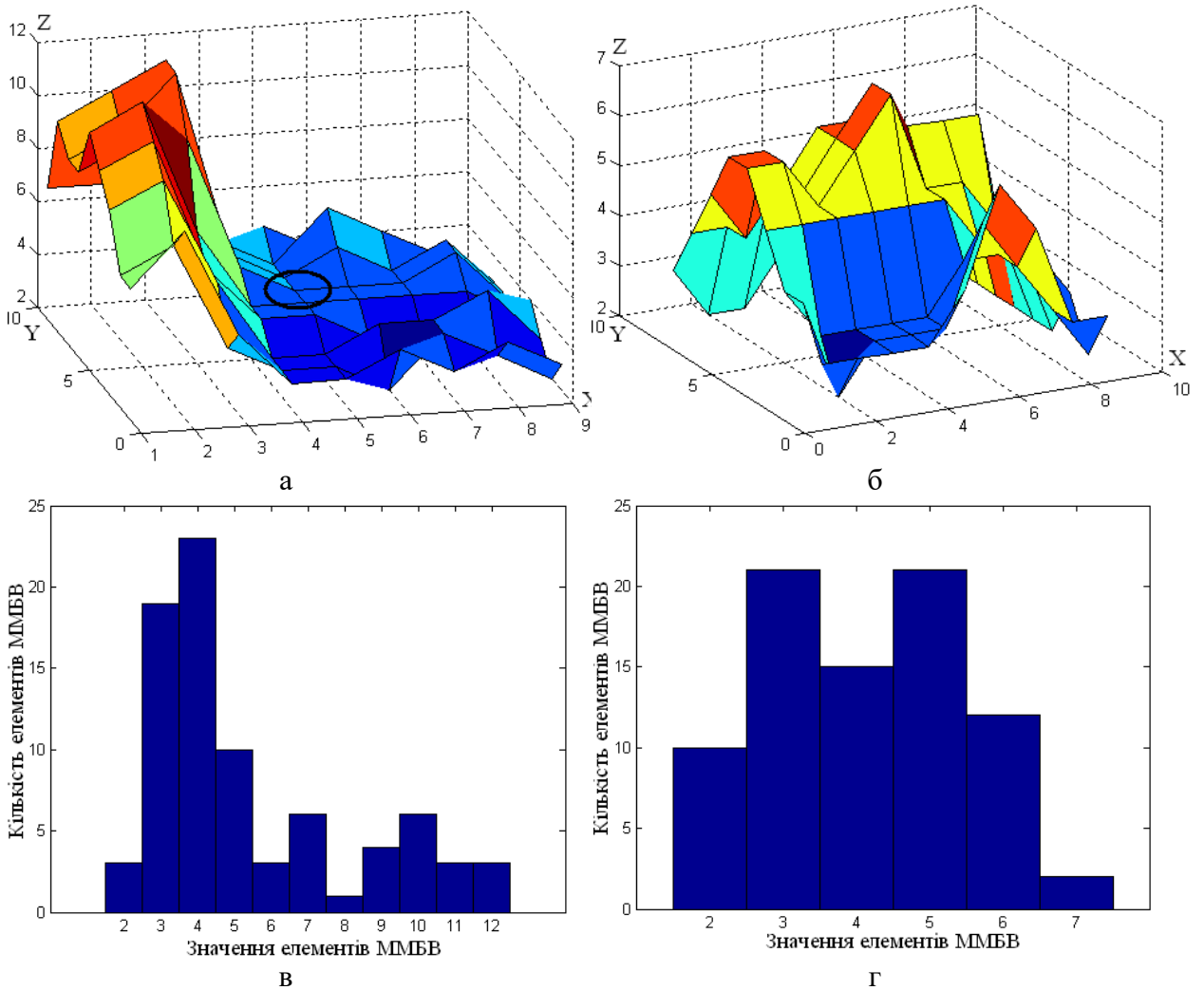


Рис. 4. Приклад клонованого ЦЗ, що ілюструє можливість відсутності для функції, що інтерполює елементи ММБВ, які побудовані у відповідності з (3), в околі клону, локального (глобального) максимуму в точці, що відповідає клону: а – ММБВ для околу радіуса 4 блоку клону (16×16) з позначенням відсутності локального максимуму; б – ММБВ для околу радіуса 4 блоку прообразу (16×16); в – гістограма значень ММБВ для околу клону; г – гістограма значень ММБВ для околу прообразу

Таким чином, врахування наявності/відсутності локального (глобального) максимуму ММБВ для околів клону, прообразу є недостатнім в умовах, що розглядаються. Але наявність локального (глобального) максимуму є не єдиною умовою, що відрізняє ММБВ для околів клону і прообразу. Дійсно, значення елементів ММБВ для околу клону більші ніж в ММБВ для околу прообразу, оскільки «чужорідна» частина – клон очевидно буде мати більші відмінності від блоків свого нового, але оригінального для первісного ЦЗ околу, ніж оригінальний прообраз від

блоків свого оригінального околу, що витікає з [15]. Ілюстрацією даного факту є порівняння на рисунках 4(а) і 4(б), 5(а) і 5(б) (для наочності на рисунках 4,5 наведені гістограми значень елементів відповідних ММБВ; як видно при порівнянні на рисунках 4(в) і 4(г), 5(в) і 5(г), максимальні значення елементів ММБВ для околу клону перевищують максимальні значення в ММБВ для околу прообразу). Така ситуація має місце для переважної більшості ЦЗ, що зазнали клонування. Але приблизно для 5% розглянутих в ході роботи ЦЗ спостерігалася ситуація, коли максимальні значення ММБВ для околів клону і прообразу співпадали (рис. 6). Для таких ЦЗ потрібен був додатковий параметр для організації відокремлення клону від прообразу.

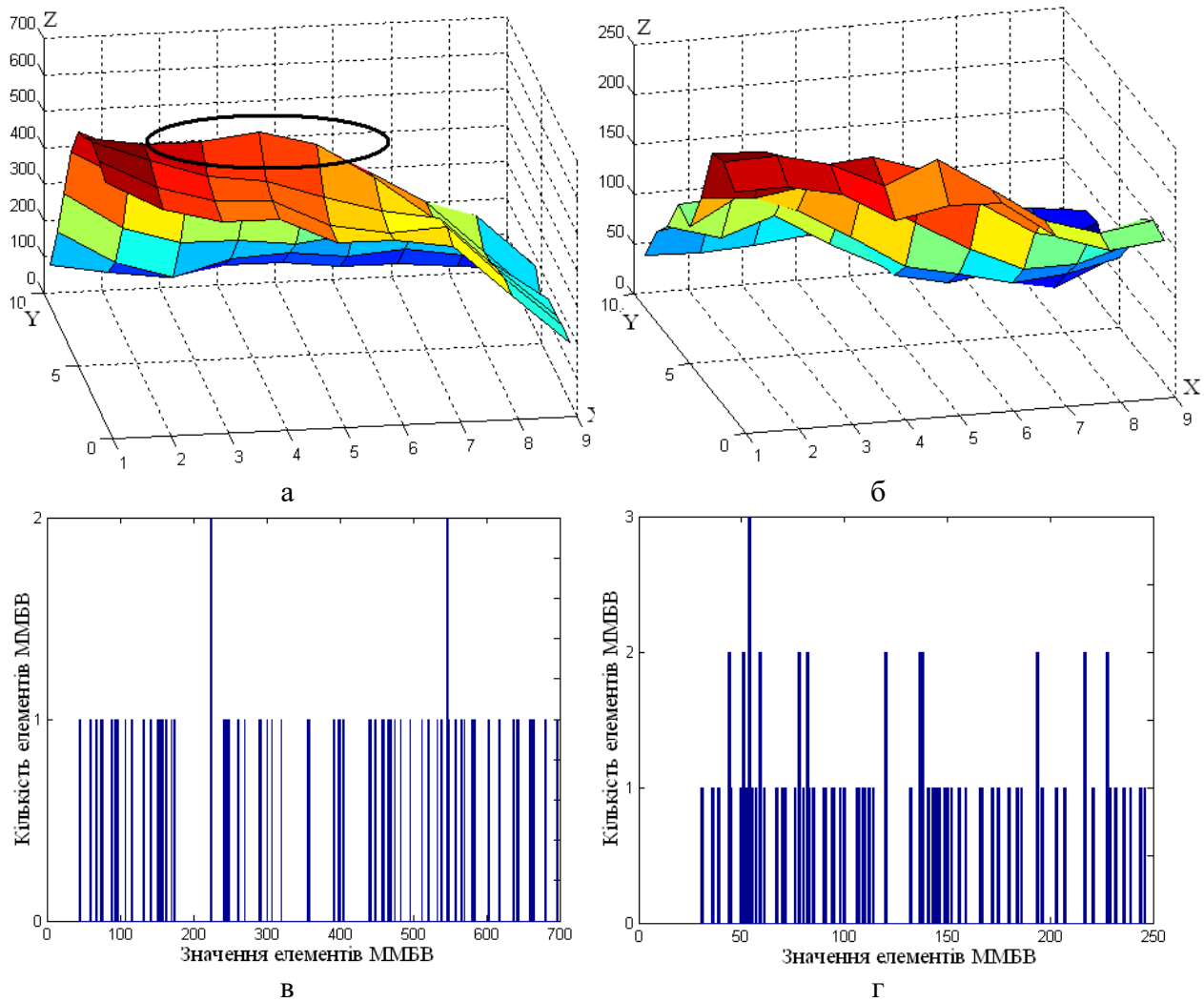


Рис. 5. Типовий приклад вигляду ММБВ для клонованого ЦЗ в умовах ГП клону: а – ММБВ для околу радіуса 3 блоку клону (16×16) з позначеним наявним локальним максимумом, що відповідає клону; б – ММБВ для околу радіуса 3 блоку прообразу (16×16); в – гістограма значень ММБВ для околу клону; г – гістограма значень ММБВ для околу прообразу

Розглянемо ситуацію, коли максимальні значення елементів ММБВ, що відповідають околу клону і прообразу, однакові. З врахуванням того, що, як вже було зазначено вище, клон є «чужорідною» областю в своєму новому місці розташування, його відмінність в переважній більшості випадків від блоків-сусідів буде більше, ніж для прообразу. Крім цього, відмінність для блоків-сусідів клону від інших блоків в околі клону теж в більшості випадків зростає в порівнянні з відмінністю блоків в околі прообразу. Дійсно, в окіл клону цей клон додався, зруйнувавши кореляцію між

пікселями, стовпцями, рядками, що є сусідніми з пікселями, стовпцями, рядками границі клону [15]. І хоча максимальні значення елементів ММБВ, що відповідають околу клону і прообразу, однакові, все вищенаведене очевидно приведе до зростання значення відмінності для більшості блоків з околу клону від інших блоків з цього ж околу, що відобразиться в збільшенні моди гістограми значень ММБВ для околу клону в порівнянні з модою гістограми ММБВ для околу прообразу, ілюстрацією чому є приклад, наведений на рис.6: при порівнянні гістограм на рисунках б(в) і б(г) мода для випадку клону дорівнює 18, у той час як мода гістограми для випадку прообразу дорівнює 9, що говорить про те, що більшість блоків околу клону має мінімальну блокову відмінність у сенсі (3) в 2 рази більшу, ніж більшість блоків околу прообразу.

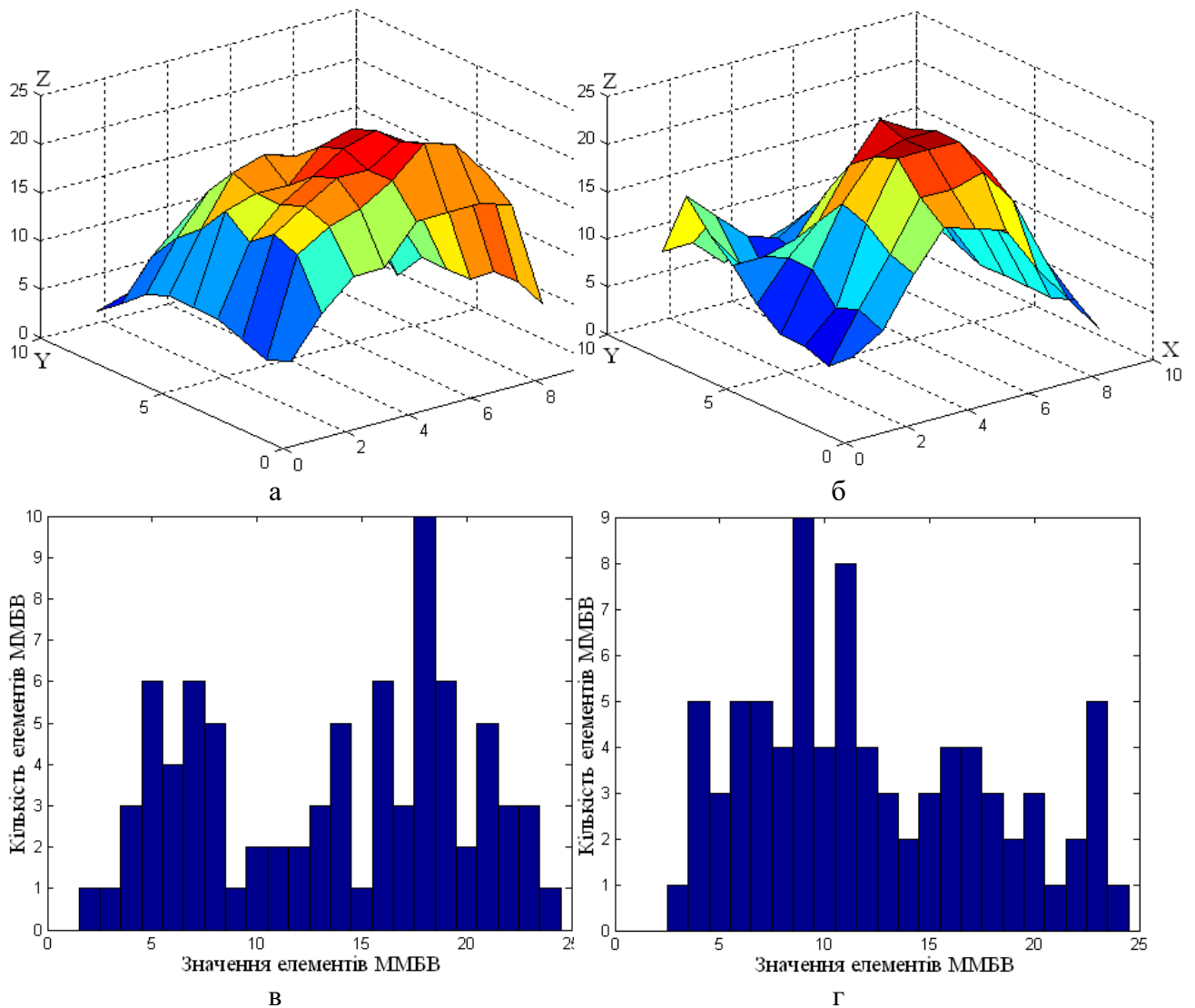


Рис. 6. Приклад ЦЗ, для якого значення максимумів ММБВ для околів клону і прообразу співпадають: а – ММБВ для околу радіуса 3 блоку клону (8×8); б – ММБВ для околу радіуса 3 блоку прообразу (8×8); в – гістограма значень ММБВ для околу клону; г – гістограма значень ММБВ для околу прообразу

З урахуванням всього вищенаведеного основні кроки методу відокремлення клону від прообразу в умовах ГП клону виглядають наступним чином. Перші два кроки аналогічні методу, запропонованому в [10]

Крок 1. Нехай T_1 і T_2 - виявлені деяким алгоритмом області клону й прообразу, що мають малі абсолютні розміри. Визначити B_1 і B_2 - $l \times l$ -блоки матриці F аналізованого ЦЗ як можна меншого розміру такі, що

$$T_1 \subseteq B_1, T_2 \subseteq B_2, B_1 \cap B_2 = \emptyset.$$

Крок 2. Побудувати O_1 і O_2 - прямокутні $p \times p$ -околи B_1 і B_2 відповідно, розміри яких порівнянні з розмірами B_1 і B_2 , такі, що

$$B_1 \subseteq O_1, B_2 \subseteq O_2, O_1 \cap O_2 = \emptyset, O_2 \cap B_1 = \emptyset. \quad (4)$$

Крок 3. Для O_1 і O_2 побудувати ММБВ, використовуючи блоки розміру $l \times l$: M_1 (з елементами $m_{ij}^{(1)}$) і M_2 (з елементами $m_{ij}^{(2)}$) відповідно. При побудові ММБВ як кількісний параметр, що характеризує відмінність між блоками, використовувати (3).

Крок 4. В M_1 і M_2 визначити значення максимальних елементів:

$$m_{max}^{(1)} = \max_{i,j} m_{ij}^{(1)}, m_{max}^{(2)} = \max_{i,j} m_{ij}^{(2)}$$

Крок 5 (відокремлення клону від прообразу).

Якщо

$$m_{max}^{(1)} > m_{max}^{(2)},$$

то

T_1 - клон, T_2 - прообраз,

Якщо

$$m_{max}^{(1)} < m_{max}^{(2)},$$

то

T_1 - прообраз, T_2 - клон,

Якщо

$$m_{max}^{(1)} = m_{max}^{(2)},$$

то

побудувати гістограми Γ_1 , Γ_2 значень M_1 , M_2 відповідно; знайти $mod a(\Gamma_1)$ і $mod a(\Gamma_2)$ - моди Γ_1 , Γ_2 відповідно

якщо

$$mod a(M_1) \geq mod a(M_2)$$

то

T_1 - клон, T_2 - прообраз,

інакше

T_1 - прообраз, T_2 - клон.

Для оцінки ефективності розробленого методу використовувалися наступні значення параметрів: $l \in \{4, 8, 16\}$, $p = l + 10$, при цьому O_1 і O_2 обиралися так, щоб клону/прообразу відповідали центральні елементи матриць M_1 і M_2 відповідно (хоча це не є обов'язковим), при побудові Γ_1 , Γ_2 крок дорівнював одиниці. В експерименті було задіяно: 200 ЦЗ з бази `img_Nikon_D70s` [16], 300 ЦЗ з бази `4cam_auth` [17]. В ході експерименту клони піддавалися різним ГП. Розміри клону/прообразу обиралися малими в абсолютному сенсі: $l \in \{4, 8, 16\}$. Результати експерименту представлені в таблиці 1. Причини зростання кількості помилок із збільшенням l викладені в [15].

Таблиця 1.

Помилки при відокремленні клону від прообразу (%)

		L	
4		8	16
10.8		11.2	13

При проведенні експерименту для виявлення областей клону і прообразу в умовах ГП клону використовувався метод *UKL*, запропонований в [14], заснований на аналізі ММБВ, яка будується за принципом (3). Повний цикл експертизи продемонстровано на прикладі ЦЗ Lenna, яке зазнало клонування в умовах повороту клону на 90 градусів в від'ємному напрямку (рис. 7(а)). За допомогою *UKL* вірно знайдено області клону і прообразу (рис. 7(б)), більш явно місце розташування яких в межах зображення видно на рисунку 7(в).

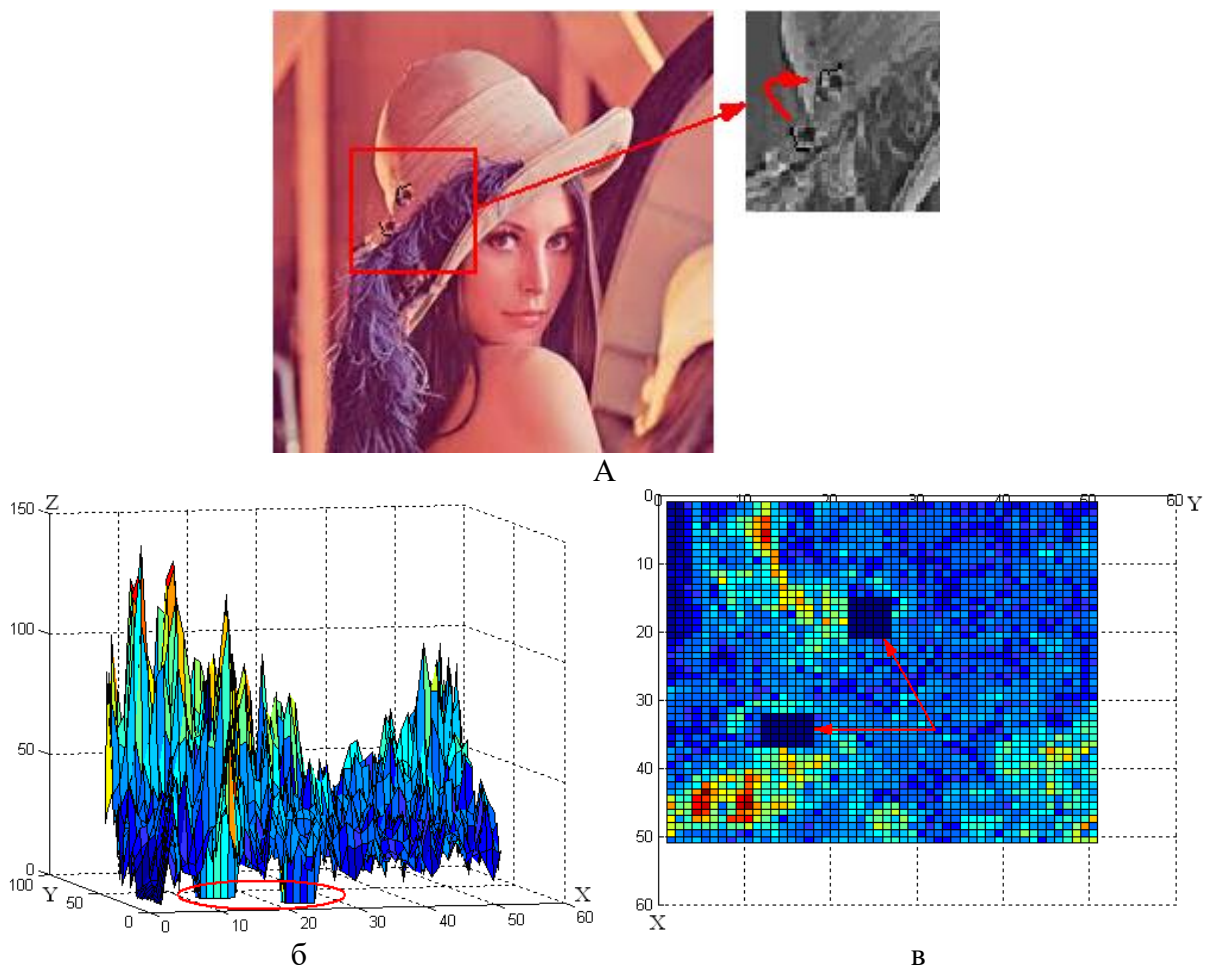


Рис. 7. Виявлення результатів клонування в ЦЗ Lenna методом *UKL*: а – ЦЗ, що зазнало клонування в умовах ГП клону, з виділеною частиною розміром 60×60 пікселів, яка піддається експертизі; б – графік функції, що інтерполює елементи ММБВ, побудованої з використанням 8×8 -блоків для виділеної частини ЦЗ (позначені частини ММБВ відповідають T_1 і T_2); в – проекція поверхні, що є графіком функції, яка інтерполює елементи ММБВ, на площину XOY з вказаними T_1 і T_2

Результат 1-го і 2-го кроків розробленого методу представлені на рисунку 8(а): B_1 , B_2 – 16×16 -блоки; O_1 , O_2 – 26×26 -блоки. Треба зазначити, що відносне розташування B_1 , B_2 в межах O_1 , O_2 не обов'язково повинно бути однаковим,

обов'язковою для взаємного розташування B_1 , B_2 , O_1 , O_2 є лише умова (4). Наступні кроки алгоритму знайшли своє відображення на рисунку 8(б)-(д). Отриманий результат, що виявляє як клон B_1 , тобто T_1 , відповідає дійсності.

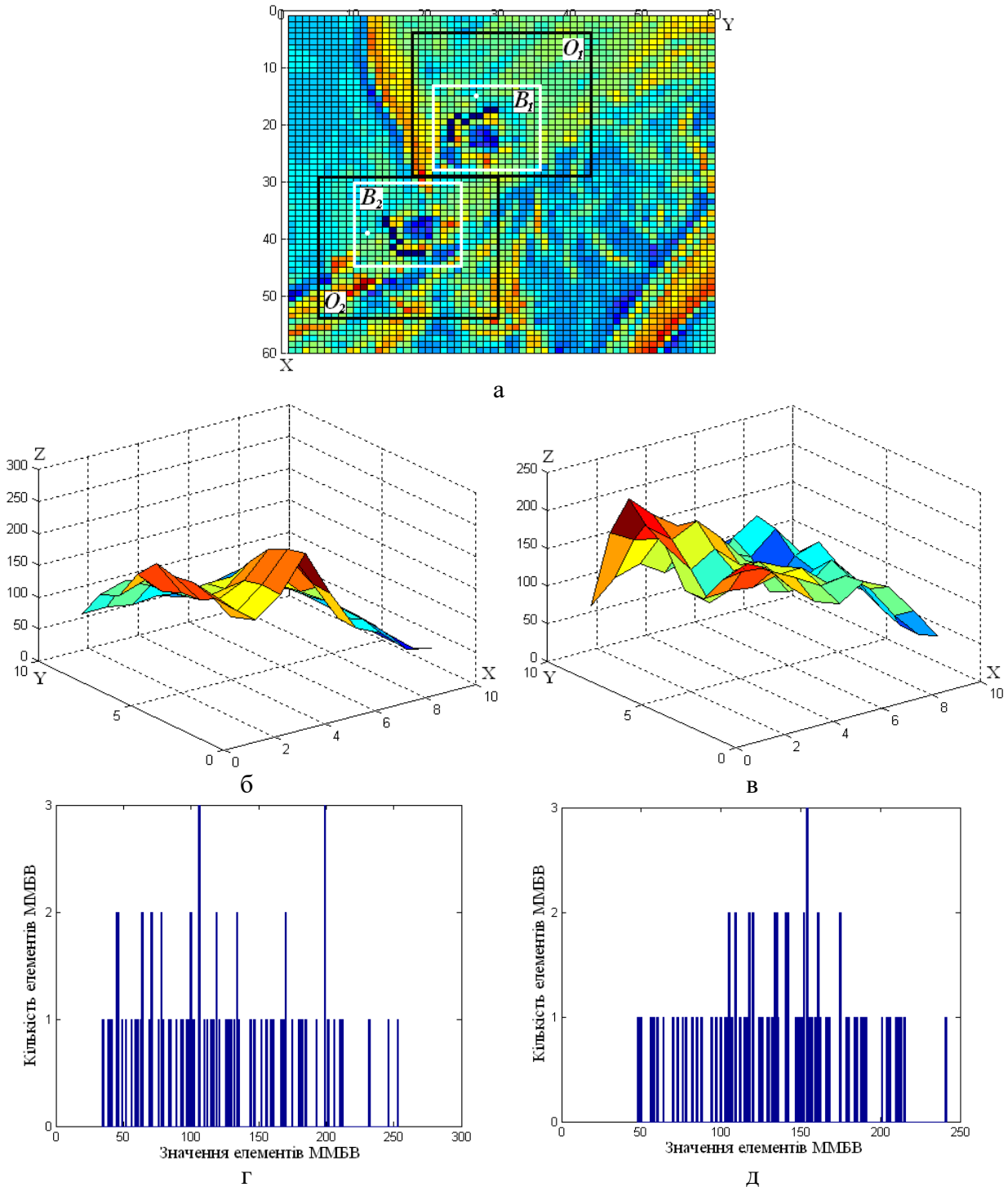


Рис. 8. Результати експертизи виділеної частини ЦЗ (рис. 7(а)), яка містить клон, прообраз, розробленим алгоритмом: а – проекція поверхні, що є графіком функції, яка інтерполює елементи 60×60 -підматриці виділеної частини досліджуваного ЦЗ, на площину XOY з визначеними областями B_1 , B_2 , O_1 , O_2 відповідно до (4); б – графік функції, що інтерполює елементи ММБВ, побудованої для O_1 ; в – графік функції, що інтерполює елементи ММБВ, побудованої для O_2 ; г – гістограма значень ММБВ для O_1 ; д – гістограма значень ММБВ для O_2

Висновки

В роботі розроблено метод відокремлення клону від прообразу в умовах ГП клону та його алгоритмічну реалізацію, аналогів якого авторами в відкритих джерелах знайдено не було, що дозволило підвищити інформативність результатів виявлення локальних порушень цілісності ЦЗ. Розроблений метод заснований на забезпеченні незалежності міри відмінності відповідних блоків клону і прообразу від ГП клону шляхом використання в якості цієї міри відмінності сингулярних чисел блоків, враховуючи те, що СНЧ блоку не змінюються при його ГП.

В результаті дослідження властивостей матриць мінімальних блокових відмінностей околів клону/прообразу малого радіуса визначені параметри цих матриць, які дозволяють відокремити клон від прообразу в умовах ГП клону: максимальні значення елементів згаданих матриць та значення, які найчастіше приймаються елементами ММБВ.

При оцінці алгоритмічної реалізації розробленого методу кількість помилок склала 10.8, 11.2, 13% для розміру l , який дорівнював 4, 8, 16 відповідно.

Список література

1. Ленков, С.В. Методы и средства защиты информации: в 2 т. / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко. – К.: Арий, 2008. – 344 с.
2. Ratnam Singh Copy Move Tampering Detection Techniques: A Review / Ratnam Singh, Mandeep Kaur // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol.11, No 5. – Pp. 3610-3615.
3. Rani, S. A Survey of Copy-Move Forgery Detection Techniques for Digital Images / S. Rani, M. Jayamohan, S. Sruthy // International Journal of Innovations in Engineering and Technology. – 2015. – Vol.5, Iss.2. – Pp.419-426.
4. He, Z. Digital image splicing detection based on approximate run length / Z. He, W. Sun, W. Lu, H. Lu // Pattern Recognition Letters. – 2011. – Vol. 32, No. 12. – Pp. 1591-1597.
5. He, Z. Digital image splicing detection based on markov features in DCT and DWT domain / Z. He, W. Lu, W. Sun, J. Huang // Pattern Recognition Letters. – 2012. – Vol.45, No. 12. – Pp. 4292-4299.
6. Кобозева, А.А. Выявление нарушений целостности цифрового изображения путем использования стеганографических алгоритмов / А.А. Кобозева, И.И. Бобок, Л.М. Дзюбинская // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2015. – Т.5, №2. – С. 129-134.
7. Бобок, І.І. Підвищення інформативності результатів виявлення клонування в цифровому зображенні / І.І. Бобок // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2017. – № 58. – С.81-89.
8. Лебедева, Е.Ю. Метод локализации и идентификации оригинальной и клонированной областей изображения / Е.Ю. Лебедева // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2014. – Том 4, №1. – С. 76-84.
9. Кобозева, А.А. Метод відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні в умовах відсутності постобробки зображення / А.А. Кобозева, І.І. Бобок // Вісник ЧДТУ. – 2018. – №2. – С. 12-19.
10. Бобок, І.І. Метод відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні в умовах відсутності відмінностей при їх постобробці / І.І. Бобок // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2017. – Т.7, №4. – С. 276-284.
11. Григоренко, С.М. Розвиток методу виявлення клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій / С.М. Григоренко // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2016. – Вип. 1(31). – С. 85-98.
12. Kobozeva, A.A. Method for Detecting of Clone Areas in a Digital Image under Conditions of Additional Attacks / A.A. Kobozeva, I.I. Bobok, S.M. Grygorenko // J. Sign. Process. Syst. Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11265-019-01449-6> (Date: 2019).
13. Бобок, І.І. Теоретичні основи вдосконалення методу виявлення результатів клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій / І.І. Бобок, А.А. Кобозева // Сучасна спеціальна техніка. – 2018. – №1. – С. 29-39.

14. Хорошко, В.О. Удосконалення методу виявлення результатів клонування в цифровому зображенні / В.О.Хорошко, І.І.Бобок // Вісник УДТУ. – 2019. – №3. – С. 36-44.
15. Кобозєва, А.А. Теоретичні основи методу відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні / А.А. Кобозєва, І.І. Бобок // Безпека інформації. – 2018. – Т.24, №1. – С.49-55.
16. Gloe, T. The 'Dresden Image Database' for benchmarking digital image forensics / T. Gloe, R. Böhme // Proceedings of the 25th Symposium on Applied Computing (ACM SAC 2010). Sierre. – 2010. – Vol. 2. – Pp. 1585–1591.
17. Hsu, Y.F. Detecting image splicing using geometry invariants and camera characteristics consistency / Y.F. Hsu, S.F. Chang // Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME'06). – 2006. – Pp. 549-552.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.А. Хорошко¹, И.И. Бобок²

¹Национальный авиационный университет,
пр-т Космонавта Комарова, 1, Киев, 03058, Украина;

²Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Украина; e-mail: onu_metal@ukr.net

На практике нарушение целостности цифрового изображения (ЦИ) часто происходит локально, в пределах некоторой (небольшой) области. Такие локальные изменения происходят, как правило, вследствие клонирования или фотомонтажа, при этом при клонировании нарушения целостности имеет место локально лишь в области клона (при отсутствии какой-нибудь дополнительной обработки ЦИ), поэтому актуальной является задача отделения клона от прообраза, которая не имеет на сегодняшний день удовлетворительного решения. В открытых источниках отсутствует информация о методах, алгоритмах, которые бы позволили выявить область клона в условиях его геометрических преобразований (ГП): отражения относительно вертикальной или/и горизонтальной оси, поворота на угол, кратный 90 градусам, отражения относительно диагонали (главной, побочной) соответствующей матрицы, которым клон часто подвергается на практике. Целью является повышение информативности результатов выявления локальных нарушений целостности ЦИ путем разработки метода отделения области клона от области прообраза малого размера в ЦИ в условиях ГП клона. Разработанный в работе метод основан на обеспечении независимости меры отличия соответствующих блоков клона и прообраза от ГП клона путем использования в качестве этой меры отличия сингулярных чисел блоков, учитывая то, что сингулярные числа блока не меняются при его упомянутых ГП. В результате исследования свойств матриц минимальных блоковых отличий окрестностей клона/прообраза малого радиуса определены параметры этих матриц, которые позволяют отделить клон от прообраза в условиях ГП клона: максимальные значения элементов упомянутых матриц и значения, которые чаще всего принимаются их элементами. При оценке алгоритмической реализации разработанного метода при выявлении клона, линейные размеры которого сравнимы с $l=4, 8, 16$, количество ошибок составило 10.8, 11.2, 13% соответственно.

Ключевые слова: цифровое изображение, локальное нарушение целостности, клонирование, клон, прообраз, сингулярные числа, матрица минимальных блоковых отличий.

IDENTIFICATION OF A LOCAL VIOLATION OF THE INTEGRITY OF A DIGITAL IMAGEV.O. Khoroshko¹, I.I. Bobok²¹National Aviation University,
prosp. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, 03058, Ukraine;²Odesa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: onu_metal@ukr.net

Violation of the integrity of a digital image often occurs locally. These disturbances occur in some (small) area of the image. Such local changes occur, as a rule, due to cloning or photomontage. Integrity violation occurs locally only for the clone if there is no additional processing of the digital image when implementing cloning. Therefore, the urgent task is to determine the area of the clone, which does not currently have a satisfactory solution. Information on methods and algorithms that would identify the clone area under the conditions of its geometric transformations is not available in open sources. The article discusses the following geometric transformations of the clone: reflection relative to the vertical and/or horizontal axis, rotation through an angle multiple of 90 degrees, reflection relative to the diagonal (main, secondary) of the corresponding matrix. A clone often undergoes such transformations in practice. The goal is to increase the information content of the results of detecting local digital image integrity violations. The goal is achieved by developing a method for separating the clone region from the region of the inverse image of the small size in the images under the conditions of geometric transformations of the clone. The method that was developed in the work is based on the fact that singular values of any matrix do not change during its geometric transformations, which are listed above. The difference between image blocks is defined as the difference between their singular spectras. For the matrices of minimal block differences, which are built for small neighborhoods of the clone / prototype, their characteristic parameters are determined: the maximum values, and the values that are most often taken by the elements of these matrices. These parameters allow you to separate the clone from the prototype in the conditions of geometric transformations of the clone. When evaluating the effectiveness of the developed algorithm in identifying a clone whose dimensions are comparable to $l = 4, 8, 16$, the number of errors was 10.8, 11.2, 13%, respectively.

Keywords: digital image, local integrity violation, cloning, clone, prototype, singular values, matrix of minimal block differences.