

УДК 004.056.5

А.А. Кобозєва,доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса,**І.І. Бобок,**старший викладач Одеського національного політехнічного університету,
м. Одеса

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛОНУВАННЯ В ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ В УМОВАХ ДОДАТКОВИХ ЗБУРНИХ ДІЙ

У роботі розроблено теоретичні основи для вдосконалення запропонованого раніше методу виявлення результатів клонування в цифровому зображенні (ЦЗ) в умовах постобробки клонованого зображення, ефективність якого перевищує ефективність сучасних аналогів. Метою вдосконалення є забезпечення працездатності методу при різних геометричних перетвореннях клону (відбиття відносно вертикальної або/і горизонтальної осі, поворот на кут, кратний 90 градусам, відбиття відносно діагоналі відповідної матриці), які не торкаються прообразу, чого не було спочатку для обговорюваного методу.

Показано, що сингулярний спектр квадратної матриці не змінюється при зазначених геометричних перетвореннях, що дозволяє використовувати при формуванні матриці мінімальних блокових відмінностей (ММБВ), яка ставиться у відповідність ЦЗ і є основним об'єктом дослідження при його аналізі, для кількісної характеристики відмінності між блоками відмінності їх сингулярних спектрів. Побудована за запропонованим принципом ММБВ має властивості, аналогічні тим, що були їй притаманні у вихідному методі: відповідним блокам клону (включаючи випадки його геометричних перетворень) і прообразу відповідають її локальні (глобальні) мінімуми, однакові (такі, які незначно різняться, що є результатом особливостей машинної арифметики) за значенням. Таким чином, аналіз отриманої ММБВ стане основою вдосконаленого методу виявлення результатів клонування в ЦЗ.

Ключові слова: цифрове зображення, клонування, клон, прообраз, постоброблення зображення, геометричні перетворення, відбиття, поворот.

В работе разработаны теоретические основы для усовершенствования предложенного ранее метода выявления результатов клонирования в цифровом изображении (ЦИ) в условиях постобработки клонированного изображения, эффективность которого превышает современные аналоги. Целью усовершенствования является обеспечение работоспособности метода при различных геометрических преобразованиях клона (отражение относительно вертикальной или/и горизонтальной оси, поворот на угол, кратный 90 градусам, отражение относительно диагонали соответствующей матрицы), не затрагивающих прообраз, что не имело места изначально для обсуждаемого метода.

Показано, что сингулярный спектр квадратной матрицы не изменяется при указанных геометрических преобразованиях, что позволяет использовать при формировании матрицы минимальных блоковых отличий (ММБО), которая ставится в соответствие ЦИ, являющейся основным объектом исследования при анализе ЦИ, для количественной характеристики отличия между блоками различные их сингулярных спектров. Построенная по предложенному принципу ММБО обладает свойствами, аналогичными тем, что были ей присущи в исходном методе: соответствующим блокам клона (включая случаи его геометрических преобразований) и прообраза отвечают ее локальные (глобальные) минимумы, совпадающие (незначительно отличающиеся, что является результатом особенностей машинной арифметики) по значению. Таким образом, анализ полученной ММБО станет основой усовершенствованного метода выявления результатов клонирования в ЦИ.

Ключевые слова: цифровое изображение, клонирование, клон, прообраз, пост-обработка изображения, геометрические преобразования, отражение, поворот.

Theoretical basis for the improvement of the method for detecting cloning results in a digital image (DI) under conditions of post-processing of a cloned image. The effectiveness of this method exceeds modern analogues. The purpose of the improvement is to ensure the operability of the method for various geometric transformations of the clone (reflection relative to the vertical and / or horizontal axis, rotation by an angle multiple of 90 degrees, reflection relative to the diagonal of the corresponding matrix). This was not the case initially for the method discussed. The matrix of minimal block differences is put in correspondence with the DI. This matrix is the main object of research in the analysis of DI.

It is shown that the singular spectrum of a square matrix does not change under the indicated geometric transformations. This makes it possible to use the difference in singular block spectrums to quantify the difference between blocks in the formation of a matrix of minimal block differences. The analysis of the obtained matrix can become the basis of an improved method for detecting cloning results in a digital image.

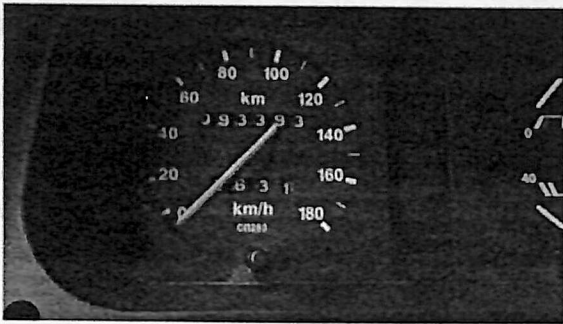
Keywords: digital image, cloning, clone, prototype, post-processing images, geometric transformations, reflection, rotation.

Вступ

Питання виявлення порушення цілісності цифрових зображень (ЦЗ) сьогодні актуальні, але до кінця не вирішені. Зокрема, не вирішено остаточно завдання щодо виявлення результатів клонування, хоча цей програмний інструмент, реалізований у всіх сучасних графічних редакторах, найбільше використовується за неавторизованих змін ЦЗ, а самому завданню приділяється багато уваги сучасними вченими [1–3]. При клонуванні одна область оригінального зображення (прообраз) копіюється і переноситься в іншу його частину, створюючи клон. Утруднення викликає виявлення клонування в умовах постобробки клонованого ЦЗ, що часто відбувається на практиці, особливо, якщо ця постобробка проводиться за рахунок значних збурних дій, наприклад, стиску з малим коефіцієнтом якості, накладання шуму з великою дисперсією, комплексних збурних дій [4; 5], а також у випадку, коли область клону має малі розміри.

Зовсім недавно в [6; 7] був запропонований метод *KL* виявлення результатів клонування в ЦЗ в умовах наявності/відсутності постобробки (у тому числі за

рахунок значних додаткових збурних дій), який за своєю ефективністю перевищує сучасні аналоги, а тому заслуговує на найбільшу увагу. Умовою застосовності *KL* є відсутність відмінностей у постобробці клону й прообразу. Однак на практиці дуже часто клон піддається деяким перетворенням для його кращої “адаптації” в умовах нової області розташування в межах зображення, а також для навмисного ускладнення процесу його виявлення, зокрема, геометричним: він може бути повернутим на якийсь кут (у порівнянні з розташуванням прообразу), відбитий дзеркально відносно вертикальної або/і горизонтальної осі (рис. 1) і т.д.



а



б

Рис. 1. 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, після чого ЦЗ було збережено з втратами

Неспроможність методу *KL* у таких умовах є його значним недоліком поряд з перевагами і потребує вдосконалення.

Мета статті й постановка досліджень

Метою роботи є розробка теоретичних основ для вдосконалення методу *KL* [6; 7] виявлення результатів клонування в ЦЗ в умовах постобробки клонованого зображення, які дозволять забезпечити його спроможність при різних геометричних перетвореннях клону.

Для досягнення мети в роботі вирішується задача вибору способу оцінки відмінності між блоками ЦЗ при формуванні матриці мінімальних блокових відмінностей, яка ставиться у відповідність ЦЗ. Обраний спосіб повинен забезпечувати таку кількісну характеристику відмінності між блоками, яка не буде змінюватися у випадку, коли блок клону/прообразу буде піддаватися геометричним перетворенням, що вирізняються з-поміж геометричних перетворень відповідного блоку прообразу/клону. На практиці, як правило, перетворення зазнає клон, що й буде передбачатися для визначеності нижче, не обмежуючи спільності міркувань. Як геометричні перетворення будуть розглядатися такі, які не змінюють розміри блоку й гістограму значень яскравості його пікселів: відбиття відносно вертикальної або/і горизонтальної осі, поворот на кут, кратний 90 градусам, відбиття відносно діагоналі (головної, побічної) відповідної матриці.

Основна частина

Основним об'єктом дослідження в блоково-орієнтованому методі *KL* є матриця мінімальних блокових відмінностей (ММБВ), яка ставиться у відповідність аналізованому зображенню за таким правилом [6; 7]. Нехай F –

$n \times m$ – матриця, що є формальним представленням 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 ставиться в відповідність $l \times l$ -блок B_{ij} , який є підматрицею F , для якого на місці (1,1) знаходиться елемент f_{ij} :

$$B_{ij} = \begin{pmatrix} f_{ij} & f_{i,j+1} & \dots & f_{i,j+l-1} \\ f_{i+1,j} & f_{i+1,j+1} & \dots & f_{i+1,j+l-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i+l-1,j} & f_{i+l-1,j+1} & \dots & f_{i+l-1,j+l-1} \end{pmatrix}.$$

Елементи g_{ij} $(n-l+1) \times (m-l+1)$ -ММБВ G , яка ставиться в відповідність 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:

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

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

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

Відповідним блокам B_{ij} клону і B_{kl} прообразу в ММБВ відповідають однакові за значенням локальні (глобальні) мінімуми: $g_{ij} = g_{kl}$ (рис. 2(а)).

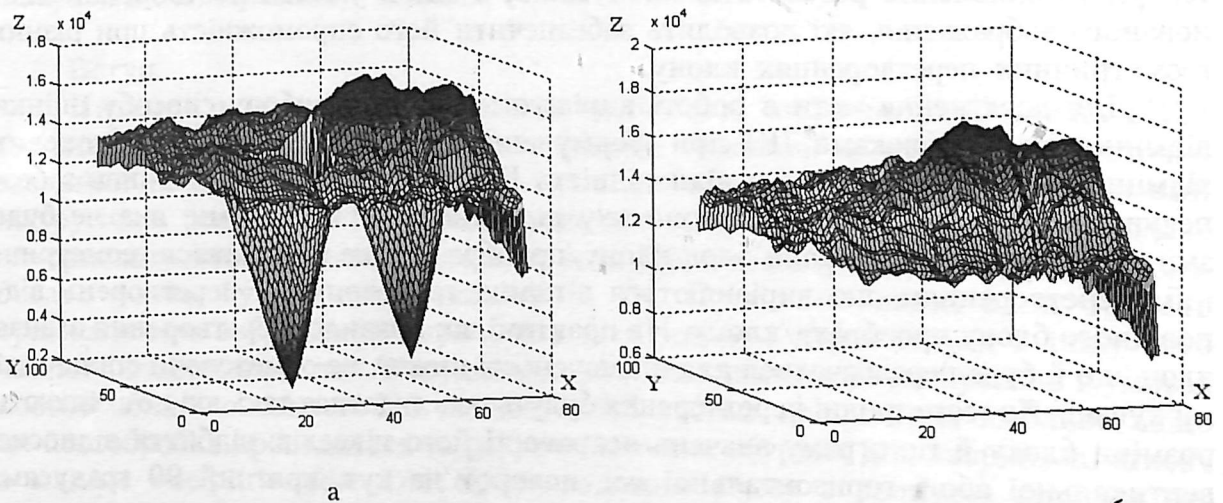


Рис. 2. Графік функції, що інтерполює елементи ММБВ, що відповідає частині ЦЗ, яка містить клон і прообраз, сформованої відповідно до (1), (2): а – при однаковій постобробці клону й прообразу (клоніване ЦЗ збережене в Jpeg з коефіцієнтом якості $QF=65$); б – клон попередньо зазнав відбиття відносно горизонтальної осі, після чого клоніване ЦЗ збережене в Jpeg з коефіцієнтом якості $QF=65$

Будь-яка відмінність у постобробці клону й прообразу, зокрема, геометричне перетворення клону, очевидно ускладнить виявлення цих областей за допомогою KL у випадку, якщо відмінність між блоками при експертизі ЦЗ буде розраховуватися відповідно до (1), (2), оскільки елементи матриці R , якщо вони не будуть відповідати різниці відповідних елементів матриць B_{ij} , B_{kl} можуть виявитися значними навіть у випадку, коли B_{ij} , B_{kl} – дійсно, відповідні блоки клону (підданого геометричному перетворенню) і прообразу (рис. 2(б)). Необхідно так кількісно визначити відмінність між блоками B_{ij} , B_{kl} щоб її значення не змінювалося у випадку, коли відповідний блок клону буде підданий геометричному перетворенню.

На перший погляд видається, що для розв'язання поставленого завдання буде зручно використовувати для кількісної характеристики відмінності блоків B_{ij} , B_{kl} так:

$$\left| \sum_{t,p=1}^l b_{tp}^{(ij)} - \sum_{t,p=1}^l b_{tp}^{(kl)} \right|, \quad (3)$$

де $b_{tp}^{(ij)}$, $b_{tp}^{(kl)}$, $t, p = \overline{1, l}$, – елементи B_{ij} , B_{kl} відповідно. Дійсно, сума значень елементів матриці блоку не зміниться, якщо цей блок піддати геометричним перетворенням, зазначеним вище. Однак формула (3) така, що навіть якщо відповідні елементи B_{ij} , B_{kl} відрізняються значно (чого не може бути для відповідних блоків клону й прообразу), але ці відмінності для різних елементів мають різні знаки (наприклад, $b_{1,p_1}^{(ij)} - b_{1,p_1}^{(kl)} < 0$, $b_{2,p_2}^{(ij)} - b_{2,p_2}^{(kl)} > 0$, але $|b_{1,p_1}^{(ij)} - b_{1,p_1}^{(kl)}| \approx |b_{2,p_2}^{(ij)} - b_{2,p_2}^{(kl)}| \gg 1$), то при цьому значення (3) може бути малим навіть у випадку, коли реально B_{ij} , B_{kl} “далекі” один від одного, що часто приводить до виду ММБВ, неінформативному навіть у випадку, коли клон і прообраз оброблялися однаково (рис. 3(а)).

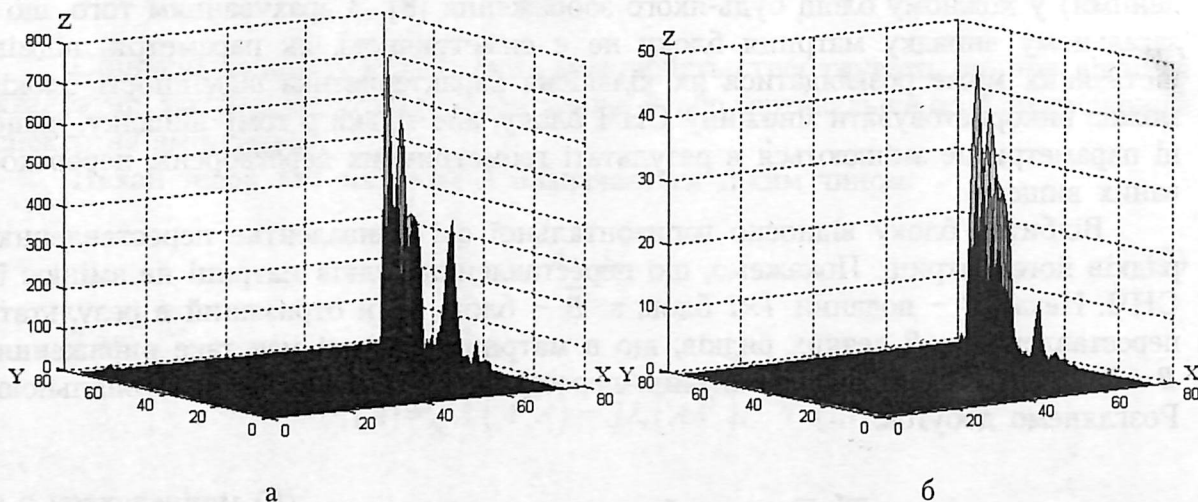


Рис. 3. Графік функції, що інтерполірує елементи ММБВ, яка побудована для ЦЗ, що зазнало клонування з наступним збереженням із втратами, елементи якої обчислювалися: а – відповідно до (3); б – відповідно до (4).

Аналогічні якісні результати для ММБВ були отримані (рис. 3(б)), коли кількісно відмінність між блоками визначалася таким чином:

$$\left| \|B_{ij}\|_F - \|B_{kl}\|_F \right|, \quad (4)$$

де $\|\bullet\|_F$ – норма Фробеніуса [8] відповідної матриці, величина якої також не зміниться, якщо змінити взаємне розташування елементів матриці, залишаючи незмінними їхні безпосередні значення.

Використовуючи неформальне пояснення того, що відбувається, можна сказати, що така картина пов'язана з тим, що характеристикою блоку, що враховується при знаходженні “близького” йому, тут є один числовий параметр, який може відповідати множині (зі значною потужністю) різних блоків, що катастрофічно зменшує інформацію про конкретний блок. Використовувані при аналізі ЦЗ формальні параметри повинні нести в собі інформацію про характеристики блоку, його особливості, як, наприклад, параметри, які складають повні набори [9], що визначають відповідну матрицю однозначно: множина сингулярних чисел (СНЧ) і сингулярних векторів, отриманих у результаті нормального сингулярного розкладання, множина власних значень і власних векторів (для симетричної матриці), отриманих у результаті нормального спектрального розкладання відповідної матриці. Нормальні розкладання матриці використовуються для забезпечення їх єдиності [9]. Однак використання повних наборів параметрів повністю для розв'язання задачі, що розглядається, є недоцільним через низку причин. Сингулярні (власні) вектори мають різну чутливість до збурних дій у межах однієї матриці [8]. Серед цих векторів знайдуться такі, які будуть чутливими навіть до похибок округлення, наявності яких через те, що елементи векторів належать множині дійсних чисел, є неминучою. Крім того, чутливість таких векторів змінюється при переході від блоку до блоку в межах одного ЦЗ, тобто взагалі не може бути передбачуваною. СНЧ (власні значення у випадку симетричної матриці), на відміну від відповідних векторів, є малочутливими (добре зумовленими) у кожному блоці будь-якого зображення [8]. З врахуванням того, що в загальному випадку матриця блоку не є симетричною, як параметри, відмінність яких може розглядатися як кількісна характеристика відмінності блоків, можна використовувати множину СНЧ блоку, але тільки в тому випадку, якщо ці параметри не змінюються в результаті геометричних перетворень, перерахованих вище.

Відбиття блоку відносно горизонтальної осі еквівалентне переставленню рядків його матриці. Покажемо, що переставлення рядків матриці не змінює її СНЧ. Нехай B – поданий $l \times l$ блок, а $\bar{B}$ – блок, який отриманий в результаті переставлення в B деяких рядків, що в матричному виді має таке вираження: $\bar{B} = P \cdot B$, де P – відповідна матриця переставлення [10], яка є ортогональною. Розглянемо добуток:

$$\bar{B}^T \cdot \bar{B} = (P \cdot B)^T \cdot P \cdot B = B^T \cdot P^T \cdot P \cdot B = B^T \cdot B. \quad (5)$$

Матриці $\bar{B}^T \cdot \bar{B}$, $B^T \cdot B$ є симетричними і, у випадку невідродженості $B/\bar{B}$, додатно визначеними, що призводить до того, що всі їх власні значення $\lambda_i(\bar{B}^T \bar{B})$, $\lambda_i(B^T B)$, $i=1, l$, є дійсними і додатними. Для $\lambda_i(\bar{B}^T \bar{B})$, $\lambda_i(B^T B)$, $i=1, l$, є такі співвідношення [8]:

$$\lambda_i(\overline{B}^T \overline{B}) = \sigma_i^2(\overline{B}), \quad \lambda_i(B^T B) = \sigma_i^2(B), \quad i = \overline{1, l}, \quad (6)$$

де $\sigma_i(\overline{B}), \sigma_i(B), i = \overline{1, l}$, – СНЧ $\overline{B}$ і B відповідно. Оскільки, як випливає з (5), $\overline{B}^T \overline{B} = B^T B$, то

$$\lambda_i(\overline{B}^T \overline{B}) = \lambda_i(B^T B), \quad i = \overline{1, l},$$

а тоді з (6) через невід'ємність СНЧ будь-якої матриці випливає, що

$$\sigma_i(\overline{B}) = \sigma_i(B), \quad i = \overline{1, l}. \quad (7)$$

Співвідношення (7) отримано у випадку одного переставлення рядків в B . З врахуванням того, що відбиття матриці відносно горизонтальної осі можна розглянути як результат послідовності переставлень пар рядків, то співвідношення (7) доводить збереження незмінним сингулярного спектра матриці після її відбиття відносно горизонтальної осі.

Аналогічно можна показати, що переставлення стовпців матриці не змінюють її СНЧ. Для цього достатньо представити в матричному вигляді результат переставлення стовпців: $\overline{B} = B \cdot P$, а потім розглянути матрицю, що дорівнює добутку $\overline{B} \cdot \overline{B}$, що приведе до співвідношення:

$$\sigma_i(\overline{\overline{B}}) = \sigma_i(B), \quad i = \overline{1, l}, \quad (8)$$

Співвідношення (7) і (8) дають можливість стверджувати, що при відбитті квадратної матриці відносно горизонтальної й/або вертикальної осі її сингулярний спектр не змінюється.

Нехай тепер $l \times l$ матриця A визначається таким чином:

$$A = B^T. \quad (9)$$

Тоді

$$\sigma_i(A) = \sqrt{\lambda_i(A^T A)} = \sqrt{\lambda_i(AA^T)}, \quad i = \overline{1, l}$$

а з урахуванням (9):

$$\sigma_i(A) = \sigma_i(B^T) = \sqrt{\lambda_i((B^T)^T B^T)} = \sqrt{\lambda_i(B^T (B^T)^T)} = \sqrt{\lambda_i(BB^T)} = \sqrt{\lambda_i(B^T B)} = \sigma_i(B), \quad i = \overline{1, l}.$$

Таким чином, транспонування квадратної матриці не змінює її СНЧ, тобто при симетричному відбитті блоку відносно головної діагоналі сингулярний спектр залишається незмінним.

Розглянемо, як зміниться сингулярний спектр блоку при його повороті на 90 градусів (спочатку в додатному напрямку). Взаємне розташування елементів блоку в результаті повороту не залежить від того, навколо якої саме точки площини здійснюється поворот (від цього залежать тільки безпосередні координати пікселів в отриманому після повороту блоці ЦЗ). Поворот на 90 градусів проти годинникової стрілки може бути представлений як послідовне виконання двох перетворень: відбиття блоку відносно вертикальної осі й транспонування матриці блоку. Покажемо це.

При повороті в додатному напрямку на 90 градусів перший стовпець вихідного $l \times l$ – блоку стає в результаті повороту останнім рядком результуючого $l \times l$ – блоку, тобто елементи, що знаходяться в вихідному блоці на позиціях, перемістяться на позиції (l, k) , де $k = \overline{1, l}$. Другий стовпець вихідного блоку в результаті повороту стане передостаннім рядком результуючого блоку, тобто елементи, що знаходяться у вихідному блоці на позиціях $(k, 2)$, перемістяться на позиції $(l-1, k)$ і т.д., останній стовпець вихідного блоку стане першим рядком результуючого: $(k, l) \rightarrow (1, k)$, $k = \overline{1, l}$. Таким чином, у результаті повороту на 90 градусів проти годинникової стрілки елемент $l \times l$ – блоку з індексами (i, j) переміститься на позицію $(\bar{i}, \bar{j})$, де

$$\bar{i} = l - j + 1, \quad \bar{j} = i. \quad (10)$$

Відбиття вихідного $l \times l$ – блоку відносно вертикальної осі призведе до того, що останній стовпець блоку стане першим, передостанній – другим і т.д., перший стовпець стане останнім, при цьому рядкові індекси всіх елементів не зміняться, тобто в результаті такого відбиття елемент блоку з індексами (i, j) переміститься на позицію (i', j') , де

$$i' = i, \quad j' = l - j + 1. \quad (11)$$

Наступне транспонування матриці блоку призведе до того, що її елемент, який знаходиться на позиції (i', j') , переміститься в позицію $(i'', j'') = (j', i')$, тобто з врахуванням (11):

$$i'' = j' = l - j + 1, \quad j'' = i' = i. \quad (12)$$

Таким чином, у результаті проведення двох послідовних перетворень, кожний елемент блоку з індексами (i, j) переміститься на позицію $(l - j + 1, i)$.

Порівнюючи (10) і (12), можна зробити висновок, що поворот квадратної матриці на 90 градусів проти годинникової стрілки призводить до такого самого результату, як і послідовність двох перетворень матриці: відбиття відносно вертикальної осі й транспонування.

Аналогічно можна показати, що поворот квадратної матриці на 90 градусів у від'ємному напрямку приводить до такого ж результату, що і послідовність двох її перетворень: відбиття відносно горизонтальної осі й транспонування.

З урахуванням отриманих вище результатів можна стверджувати, що перетворення $l \times l$ – матриці, що полягає в її повороті на кут, кратний 90 градусам у будь-якому напрямку, не змінює сингулярний спектр матриці.

Розглянемо перетворення квадратної матриці, що полягає в її відбитті відносно побічної діагоналі. Оскільки можна показати, що таке перетворення може бути представлено як послідовність транспонування матриці й повороту на 180 градусів, то можна стверджувати, що й таке перетворення не змінить сингулярний спектр відповідної матриці.

На підставі отриманих результатів пропонується при формуванні ММБВ, яка ставиться у відповідність аналізованому ЦЗ, для кількісної характеристики відмінності блоків B_{ij} , B_{kl} для забезпечення працездатності відповідного методу в умовах можливого геометричного перетворення клону (відбиття відносно вертикальної й/або горизонтальної осі, поворот на кут, кратний 90 градусам, симетричне відбиття відносно головної/побічної діагоналі) використовувати:

$$\sum_{t=1}^l |\sigma_t(B_{ij}) - \sigma_t(B_{kl})| \quad (13)$$

де $\sigma_t(B_{ij})$, $\sigma_t(B_{kl})$, $t = \overline{1, l}$, – СНЧ матриць B_{ij} , B_{kl} відповідно.

Приклад ММБВ для частини ЦЗ, що містить клон і прообраз, елементи якої формувалися з використанням (13), наведений на рис. 4. Хоча для відповідних блоків клону й прообразу тут отримані також тотожні за значенням локальні мінімуми, але вони не є настільки чітко вираженими, як у випадку первісного принципу (1), (2) формування ММБВ (див. рис. 2(а)). Очікуваним тут є збільшення інших помилок при роботі відповідного методу, коли в оригінальному ЦЗ будуть виявлятися результати клонування.

Основні складнощі при розробці методу виявлення результатів клонування, що ґрунтується при побудові ММБВ на співвідношенні (13), очевидно, будуть пов'язані з тим, що в випадку (13) елементи ММБВ є дійсними числами (на відміну від варіанта ММБВ, заснованого на (1), (2), де її елементи були цілими), що призведе до залежності проведених обчислень від особливостей машинної арифметики, зокрема, зумовить питання про те, як визначити рівність дійсних локальних (глобальних) мінімумів ММБВ в системі чисел із плаваючою точкою, оскільки така рівність, що є в теорії, на практиці може порушуватися.

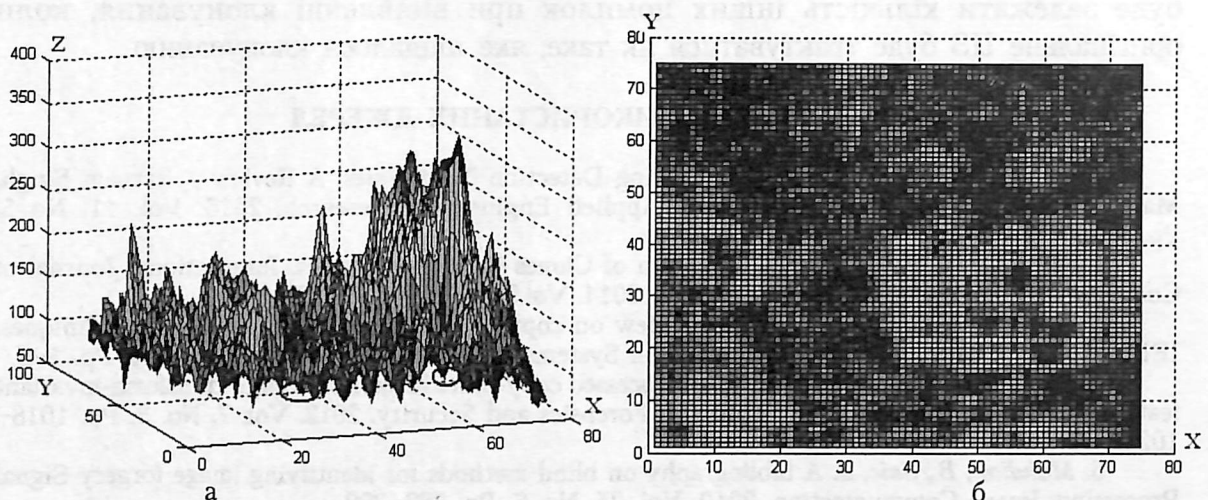


Рис. 4. Типовий приклад ММБВ, при побудові якої використовується (13), для частини ЦЗ, що містить області прообразу й клону (пікселя), клон є результатом послідовного відбиття прообразу відносно горизонтальної й вертикальної осей: а – графік функції, що інтерполює елементи ММБВ, на якому виділені області, що відповідають клону й прообразу; б – проекція графіка на ХОУ з виділеними областями клону й прообразу

Формування ММБВ відповідно до (13) не змінить оцінку обчислювальної складності для відповідного методу виявлення результатів клонування в ЦЗ, у порівнянні з KL , залишаючи його блоковоорієнтованим поліноміальним степеня 4.

Висновки

У роботі розроблені теоретичні основи для вдосконалення існуючого ефективного, у тому числі, в умовах (значних) додаткових збурних дій методу KL виявлення результатів клонування в ЦЗ. Метою вдосконалення, над яким на цей час працюють автори, є забезпечення працездатності методу за наявності різних геометричних перетворень клону, які не зачіпають прообраз, що часто має місце на практиці для "адаптації" клону до нової для нього підобласті ЦЗ. Як геометричні перетворення розглядалися: відбиття відносно вертикальної або/і горизонтальної осі, поворот на кут, кратний 90 градусам, відбиття відносно діагоналі відповідної матриці, тобто такі, які не змінюють розміри клону й гістограму значень яскравості його пікселів.

Показано, що значення СНЧ квадратної матриці не змінюються при розглянутих геометричних перетвореннях, що дозволяє використовувати при формуванні ММБВ, яка ставиться у відповідність ЦЗ, для кількісної характеристики відмінності між блоками відмінності їх сингулярних спектрів (13). Побудована за запропонованим принципом ММБВ має властивості, аналогічні тим, що були її притаманні у вихідному методі: відповідним блокам клону (включаючи випадки його геометричних перетворень, перерахованих вище) і прообразу відповідають її локальні (глобальні) мінімуми, однакові (такі, що незначно відрізняються, що є результатом особливостей машинної арифметики) за значенням. Однак через те, що елементи ММБВ тепер належать множині дійсних, а не цілих чисел, наявності округлень у системі чисел з плаваючою точкою, згадані локальні (глобальні) мінімуми не є настільки вираженими, як у ММБВ, побудованої за первісним принципом (1), (2). Це призводить до необхідності при безпосередній розробці вдосконаленого методу розв'язання питання про те, коли два близьких дійсних числа вважати однаковими. Від точності розв'язання цього питання очевидно буде залежати кількість інших помилок при виявленні клонування, коли оригінальне ЦЗ буде трактуватися як таке, яке піддалося клонуванню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Mishra, M. Adhikary, M.C. Detection of Clones in Digital Images. International Journal of Computer Science and Business Informatics. 2014. Vol.9, No.1. Pp. 91–102.
3. Ali Qureshi, M., Deriche, M. A review on copy move image forgery detection techniques. IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). 2014. Pp. 1–5.
4. Kakar, P., Sudha, N. Exposing postprocessed copy-paste forgeries through transform-invariant features. IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2012. Vol. 7, No. 3. Pp. 1018–1028.
5. Mahdian, B., Saic, S. A bibliography on blind methods for identifying image forgery Signal Processing: Image Communication. 2010. Vol. 25, No. 6. Pp. 389–399.
6. Григоренко С.М. Розвиток методу виявлення клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. 2016. Вип. 1(31). С. 85–98.

7. Кобозева А.А., Бобок И.И., Григоренко С.Н. Метод выявления нарушения целостности цифрового изображения, проведенного путем клонирования, робастный к сжатию с потерями. 17-я Международная научно-практическая конференция "Современные информационные и электронные технологии "СИЭТ-2016". Одесса, 2016. С. 127–128.

8. Деммель Д. Вычислительная линейная алгебра: теория и приложения / пер. с англ. Х.Д. Икрамова. М.: Мир, 2001. 430 с.

9. Кобозева А.А., Хорошко В.А. Анализ информационной безопасности: монография. К.: ГУИКТ, 2009. 251 с.

10. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы: учебное пособие для студ. физико-математических спец. вузов; Рекомендовано МО РФ. 6-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 636 с.

Отримано 25.01.2018

Рецензент Хорошко В.О., д.т.н., проф.