

Improved Method of Detection Falsification Results the Digital Image in Conditions of Attacks

Kobozeva A.A., Grigorenko S.N.
Odessa National Polytechnic University
Odessa, Ukraine

Abstract. The modern level of information technologies development has led to unheard ease embodiments hitherto unauthorized modifications of digital content. At the moment, very important question is the effective expert examination of authenticity of digital images, video, audio, development of the methods for identification and localization of violations of their integrity using these contents for purposes other than entertainment. Present paper deals with the improvement of the detection method of the cloning results in digital images - one of the most frequently used in the software tools falsification realized in all modern graphics editors. The method is intended for clone detection areas and pre-image in terms of additional disturbing influences in the image after the cloning operation for "masking" of the results, which complicates the search process. The improvement is aimed at reducing the number of "false alarms", when the area of the clone / pre-image detected in the original image or the localization of the identified areas do not correspond to the real clone and pre-image. The proposed improvement, based on analysis of different sizes per-pixel image blocks with the least difference from each other, has made it possible efficient functioning of the method, regardless of the specificity of the analyzed digital image.

Keywords: digital image, cloning, violating the integrity, digital image matrix, interpolation spline, disturbing influences.

Metodă perfecționată de detectare a rezultatelor de falsificare în imaginea digitală în condiții de atacuri

Kobozeva A.A., Grigorenko S.N.
Universitatea Națională Politehnică din Odesa
Odessa, Ucraina

Rezumat. Nivelul actual de dezvoltare a tehnologiilor informaționale a condus cu ușurința fără de precedent la realizarea modificării neautorizate a conținutului digital. În momentul de față, problema foarte importantă constă în examinarea efectivă a autenticității imaginilor digitale, video, audio, în elaborarea metodelor de proiectare pentru detectarea și localizarea încălcărilor integrității lor, atunci când aceste conținuturi sunt utilizate în alte scopuri decât divertisment. Cel mai frecvent utilizat software în fraudă de imagini digitale este clonarea. Acest program este implementat în toate softurile editoarele grafice moderne. Această lucrare este dedicată îmbunătățirii metodei de detectare în imaginile digitale a rezultatelor de clonare. Metoda are ca scop detectarea zonelor din clona și a imaginii inverse, în prezența acțiunilor perturbațiilor suplimentare asupra imaginii după operație de clonare pentru "mascarea" rezultatelor, ceea ce complică procesul de căutare. Îmbunătățirea se realizează cu scopul micșorării numărului „alarmerlor false”, când regiunile de imagine/prototip se descoperă în imagini originale sau la localizarea zonelor identificate, care nu corespund clonei reale și prototipului. Îmbunătățirea propusă, pe baza analizei per-pixel a blocurilor diferite, cel puțin unele de altele, și cu diferite dimensiuni, a făcut posibilă asigurarea detectării eficiente a rezultatelor de clonare, indiferent de specificul imaginilor digitale analizate.

Cuvinte-cheie: imagine digitală, clonare, manipulare, matrice de imagini digitale, influențele perturbatoare.

Усовершенствование метода обнаружения результатов фальсификации в цифровом изображении в условиях атак

Кобозева А.А., Григоренко С.Н.
Одесский национальный политехнический университет
Одесса, Украина

Аннотация. Современный уровень развития информационных технологий привел к небывалой донне легкости осуществления неавторизованных изменений цифровых контентов. В настоящий момент чрезвычайно актуальным является вопрос эффективной экспертизы подлинности цифровых изображений, видео, аудио, разработки методов выявления и локализации нарушений их целостности при использовании этих контентов в целях, отличных от развлекательных. Наиболее часто используемым при фальсификациях цифровых изображений программным инструментом является клонирование. Этот инструмент реализован во всех современных графических редакторах. Настоящая работа посвящена усовершенствованию метода выявления в цифровых изображениях результатов клонирования. Метод нацелен на обнаружение областей клона и прообраза в условиях дополнительных

возмущающих воздействий на изображения после проведения операции клонирования для «маскировки» ее результатов, усложняющей процесс поиска. Усовершенствование проводится с целью снижения количества «ложных тревог», когда области клона/прообраза обнаруживаются в оригинальных изображениях либо локализация выявленных областей не соответствует реальному клону и прообразу. Предложенное усовершенствование, основанное на попиксельном анализе блоков изображения различного размера, наименее отличающихся друг от друга, дало возможность обеспечить эффективную работу метода независимо от специфики анализируемого цифрового изображения.

Ключевые слова: цифровое изображение, клонирование, нарушение целостности, матрица цифрового изображения, возмущающие воздействия.

Введение

На сегодняшний день проблема выявления неоригинальных (претерпевших различные неавторизованные изменения) цифровых контентов является чрезвычайно актуальной [1-4]. Современный уровень развития информационных технологий, существование и непрерывное совершенствование таких программных «монстров», как Adobe Photoshop, Gimp и др., делают подделки (фальсификации) цифровых контентов, в частности, изображений (ЦИ), о которых и пойдет речь далее, легко и качественно реализуемыми, а потому очень распространенными. Теперь, встречая, например, в Интернете, какую-либо информацию, подкрепляемую видео, фотоматериалами, используемыми якобы для доказательства ее подлинности, каждый раз задумываешься над тем, а не являются ли эти материалы результатом качественной фальсификации. «Цена» такой подделки, ее последствия могут быть различными. Такие видео материалы могут привести к непоправимым последствиям при их использовании в качестве вещественных доказательств в судебных разбирательствах, в медицине, в ходе различных манипуляций общественным сознанием, мнением, в ходе политической борьбы и т.д. В силу этого сейчас, как никогда ранее, остро встает вопрос эффективной экспертизы подлинности тех или иных цифровых контентов, разработки методов выявления и локализации нарушений их целостности.

Одним из наиболее часто используемых при фальсификациях ЦИ программных инструментов является клонирование [4-9], реализованное во всех современных графических редакторах. Убрать «ненужный» объект с фотографии, заменить один объект другим, изменить месторасположение и ориентацию имеющегося объекта, увеличить количество объектов на ЦИ – все это

возможно осуществить в пределах одного изображения при помощи клонирования, в ходе которого одна часть ЦИ (прообраз) копируется и переносится в другую подобласть этого изображения, заменяя собой его оригинальную часть, образуя клон. Если после такой операции ЦИ не подвергается никакой изменяющей его матрицу обработке (в частности, не обрабатываются те части изображения, которые содержат клон и прообраз), то организация решения задачи выявления нарушений целостности в подобной ситуации принципиально ясна: области клона и прообраза ищутся как *одинаковые* (связные) части матрицы ЦИ. В силу этого на практике изображение после клонирования для маскировки его результатов, как правило, подвергается дополнительным возмущающим воздействиям (постобработке): наложению шума, фильтрации, размытию, масштабированию, сохранению с потерями и т.д. Эти воздействия меняют матрицу ЦИ, делая несовпадающими по соответствующим значениям подматрицы, отвечающие клону и прообразу, и значительно усложняя задачу выявления этих областей при экспертизе изображения.

Задача обнаружения результатов клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий не является новой. Самым распространенным подходом при решении этой задачи является подход, основанный на поиске и описании характерных точек ЦИ [4,6,9], который оказывается недостаточно эффективным в случае, когда клонирование используется для сокрытия объекта на ЦИ при помощи области-прообраза с малыми перепадами значений яркости пикселей (фоновой области), что часто имеет место на практике.

Одним из наиболее распространенных способов маскировки клонирования является последующее размытие изображения.

Размытие ЦИ, само по себе, служит указателем на нарушение его целостности, однако современные методы выявления размытия на ЦИ, претерпевшем клонирование, не в состоянии локализовать области клона и прообраза, как, например, метод, предложенный в [10], что является их значимым недостатком для решения рассматриваемой задачи.

С учетом значительных объемов информации, которая пересылается сейчас по каналам связи (или просто хранится), эта информация, как правило, сохраняется в форматах с потерями. В силу этого ЦИ после проведенного в нем клонирования с большой долей вероятности будет сохранено с потерями, что позволит не только замаскировать следы клонирования, но и обеспечить отсутствие к этому ЦИ дополнительного внимания со стороны экспертов. С учетом этого очевидным является вывод о необходимости робастности к сжатию с потерями любого современного метода обнаружения клонирования, чему не удовлетворяют методы, предложенные в [11,12], решающие задачу локализации областей клона/прообраза в условиях коррекции их яркости/цвета.

Одним из эффективных современных методов, решающих рассматриваемую задачу, можно считать метод, предложенный в [13,14]. Основная идея метода делает его независимым от специфики того или иного возмущающего воздействия, используемого в процессе постобработки. Существенным здесь является лишь требование, чтобы области клона и прообраза обрабатывались в пределах изображения одинаково, с использованием одних и тех же программных средств. Метод основан на выявлении геометрической сравнимости частей поверхности, которая ставится в соответствие анализируемому изображению, отвечающих клону и его прообразу, откуда вытекает для упомянутых частей поверхности сравнимость объемов цилиндрических тел, которые они (части поверхности) ограничивают сверху, с образующей, параллельной оси аппликат, ограниченных снизу координатной плоскостью ХОУ. В ходе анализа $n \times m$ – матрица F с элементами $f_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ ЦИ разбивается на пересекающиеся $q \times q$ – блоки таким образом, что каждому ее элементу f_{ij} ,

$i = \overline{1, n - q + 1}, j = \overline{1, m - q + 1}$, ставится в соответствие блок B_{ij} , для которого элемент f_{ij} находится на месте (1,1) [14]:

$$B_{ij} = \begin{pmatrix} f_{ij} & f_{i,j+1} & \cdots & f_{i,j+q-1} \\ f_{i+1,j} & f_{i+1,j+1} & \cdots & f_{i+1,j+q-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i+q-1,j} & f_{i+q-1,j+1} & \cdots & f_{i+q-1,j+q-1} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для каждой пары блоков B_{ij} и B_{kl} определяется $q \times q$ – матрица $R = |B_{ij} - B_{kl}|$, при помощи которой для каждого блока B_{ij} строится $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$ – матрица блоковых отличий $M^{(ij)}$ [13,14] с элементами $m^{(i,j)}_{k,l}$, определяемыми как

$$m^{(i,j)}_{k,l} = \sum_{t,p=1}^q r_{tp}, \quad (2)$$

где $r_{tp}, t, p = \overline{1, q}$, — элементы R , $k = \overline{1, n - q + 1}, l = \overline{1, m - q + 1}$.

Основным объектом анализа предложенного в [14] метода является $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$ – матрица G , каждый элемент g_{ij} которой для блока B_{ij} отражает наименьшее отличие его от любого другого блока вида (1) матрицы изображения:

$$g_{ij} = \min M^{(ij)}, i = \overline{1, n - q + 1}, j = \overline{1, m - q + 1}. \quad (3)$$

В [13,14] показано, что соответствующие блоки клона и прообраза определяются равными по значению элементами матрицы G , отвечающими локальным минимумам интерполирующей ее элементы функции, причем это имеет место независимо от специфики использованного для постобработки возмущающего воздействия.

Использование в качестве единственного признака клона/прообраза значений совпадающих локальных минимумов упомянутого выше графика, который (признак) в подавляющем большинстве случаев оказывается достаточным для выявления клона и прообраза (при их наличии), может создать ложные тревоги и

привести к ошибкам второго рода алгоритмической реализации предложенного в [14] метода. Это может произойти в случае, когда на ЦИ присутствуют области (так называемые фоновые), в пределах которых изменение яркости пикселей очень незначительно. Блоки вида (1) в таких частях оригинального ЦИ сами по себе мало отличаются друг от друга в смысле (2) (на рис.1 такая область выделена замкнутой кривой). В случае, когда клонирование происходит в пределах такого изображения, но не в фоновой области (рис.1), возможна ситуация, когда именно блоки фоновой оригинальной области обеспечат совпадающие локальные минимумы для интерполирующего элементы G сплайна.



Рис.1. Иллюстрация возможного варианта клонирования в изображении, имеющем значительную фоновую область.

I. ЦЕЛЬ СТАТЬИ И ПОСТАНОВКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы является усовершенствование метода выявления клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий, предложенного в [14], путем обеспечения его эффективной работы независимо от специфики анализируемого ЦИ.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Исследовать характерные особенности окрестностей элементов матрицы G , определяющих совпадающие по значению локальные минимумы функции, интерполирующей элементы G , для случая оригинального ЦИ и изображения, для которого соот-

ветствующие блоки матрицы принадлежат областям клона и прообраза;

- Проанализировать попиксельно отличия соответствующих блоков клона и прообраза в условиях дополнительных возмущающих воздействий и блоков оригинального ЦИ, определяющих локальные минимумы функции, интерполирующей элементы матрицы G .

II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

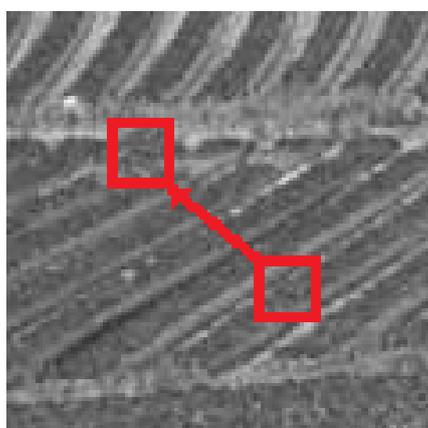
Использование в качестве признака клона/прообраза наличие совпадающих значений локальных минимумов графика функции, интерполирующей G , которая далее обозначается f_G , позволяет даже при помощи субъективного анализа этого графика в подавляющем большинстве случаев не только выявить клон и прообраз (при их наличии), но и локализовать их месторасположение, в том числе, в случае геометрических и комплексных воздействий, обязательной составной частью которых, с учетом вышесказанного, является сжатие с потерями (сохранение в формат Jpeg с различными коэффициентами качества QF) (рис.2,3). Однако алгоритмическая реализация метода в силу вышесказанного требует дополнительных уточнений, в частности, признаков отделения областей клона и прообраза от областей ЦИ, принадлежащих фоновым частям ЦИ.

Рассмотрим более подробно окрестности тех элементов матрицы G , которые определяют совпадающие по значению локальные минимумы f_G , отвечающие соответствующим блокам клона B_{ij} и прообраза B_{kl} . Эти блоки определяют равные по значению локальные минимумы f_G в элементах g_{ij} и g_{kl} матрицы G : вокруг них существуют окрестности из элементов G , где g_{ij} и g_{kl} - самые малые по значению. В соответствии с тем, как происходит формирование матрицы G , очевидно, что в подавляющем большинстве случаев наименьшим отличием для блока $B_{i-1,j}$ в смысле (2) будет обладать блок $B_{k-1,l}$, для блока $B_{i,j-1}$ - блок $B_{k,l-1}$ и т.д., т.е. от блока $B_{i-p,j-u}$ будет менее всего отличаться блок $B_{k-p,l-u}$, где $p, u \in \{0,1\}$, и наоборот.

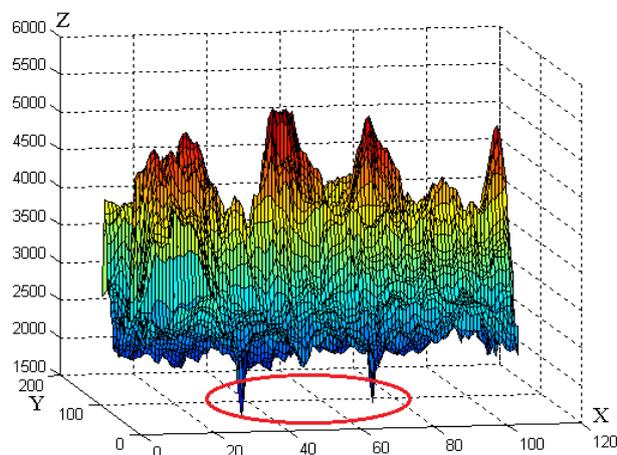
Действительно, блоки $B_{i-p,j-u} / B_{k-p,l-u}$ отличаются от блока B_{ij} / B_{kl} лишь одним столбцом или/и строкой. И если отличие B_{ij} от B_{kl} минимально, то практически очевидным будет минимальным отличие и между соответствующими блоками, полученными из них одинаковым (влево, вправо, вверх, вниз) сдвигом в пределах матрицы на 1 пиксель, т.е. именно эти блоки и определяют значения соответствующих элементов G . С учетом (3) в подавляющем большинстве случаев будет иметь место соотношение:

$$g_{i-p,j-u} = g_{k-p,l-u}, \quad p, u \in \{0,1\}. \quad (4)$$

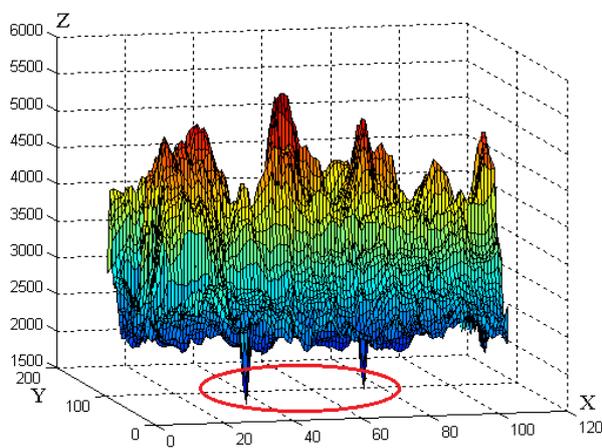
Соотношение (4) означает, что в окрестностях элементов g_{ij} и g_{kl} радиуса $r=1$ в матрице G значения соответствующих элементов будут одинаковыми для блоков клона и прообраза.



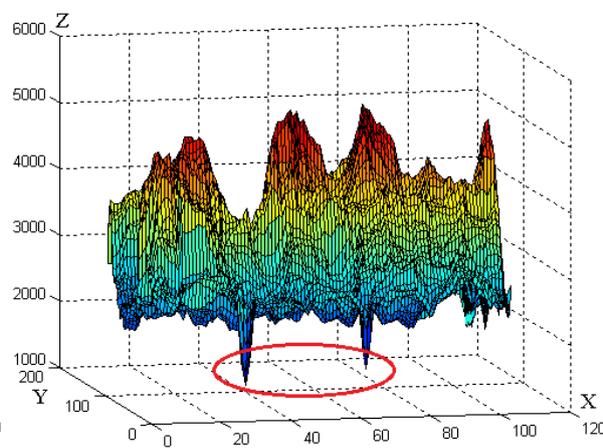
а



б



в



г

Рис.2. Пример выявления наличия клонирования в ЦИ в условиях дополнительных возмущений, отличных от геометрических: а – результат клонирования в ЦИ (размер прообраза 16×16 пикселей); график функции f_G для матрицы G , полученной в условиях дополнительных возмущающих воздействий б – наложение на клонированное ЦИ гауссовского шума с нулевым матожиданием и дисперсией $D = 0.0001$ и последующего сохранения в формат Jpeg с $QF = 65$; в – наложение мультипликативного шума с $D = 0.001$ и последующего сохранения в формат Jpeg с $QF = 65$; г – сохранение клонированного ЦИ с потерями с $QF = 25$.

Предположим теперь, что B_{ij} и B_{kl} – блоки оригинальной области ЦИ,

определяющие совпадающие по значению локальные минимумы графика функции f_G :

$g_{ij} = g_{kl}$. Поскольку эти блоки не являются блоками клона и прообраза, то несмотря на их малое отличие в смысле (2), где учитывается целиком сумма абсолютных отличий по всем пикселям блоков, можно предположить, что максимальное попиксельное отличие в таких блоках будет превосходить аналогичный параметр для соответствующих блоков клона и прообраза, где отличия в соответствующих пикселях сравнимы между собой. Кроме того, естественно ожидаемым будет для блоков оригинального ЦИ и то, что величина попиксельного отклонения в большинстве соответствующих пикселей пары блоков будет больше, чем для блоков клона и прообраза, для которых до постобработки эти отклонения были нулевыми.

Для практического подтверждения выдвинутой гипотезы был проведен вычислительный эксперимент, в котором были задействованы 400 ЦИ (как оригинальных, так и претерпевших клонирование с последующей постобработкой), при этом оригинальные изображения брались из базы NRCS [15], являющейся традиционной при тестировании методов и алгоритмов, работающих с ЦИ. Далее сформированное множество ЦИ называется экспериментальным множеством.

В ходе эксперимента анализировались гистограммы значений матрицы R блоков, определяющих пары совпадающих по значению локальных минимумов f_G для матрицы G ЦИ. Типичный вид таких гистограмм для блоков размера 32×32 представлен на рис.4. Как видно, гистограмма для блоков клона и прообраза отличается от возможных вариантов гистограмм для блоков оригинальных областей ЦИ. Как и предполагалось, максимальные попиксельные отличия в первом случае меньше, чем во втором. Кроме того, для блоков оригинального ЦИ часто наблюдался вариант, когда гистограмма имела глобальный максимум в аргументе, отличном от условного нуля (рис.4(в)) (соответствующий столбец гистограммы не включал в себя нулевые значения элементов R), что является нетипичным для блоков клона и прообраза (рис.4(а)).



а



б



в

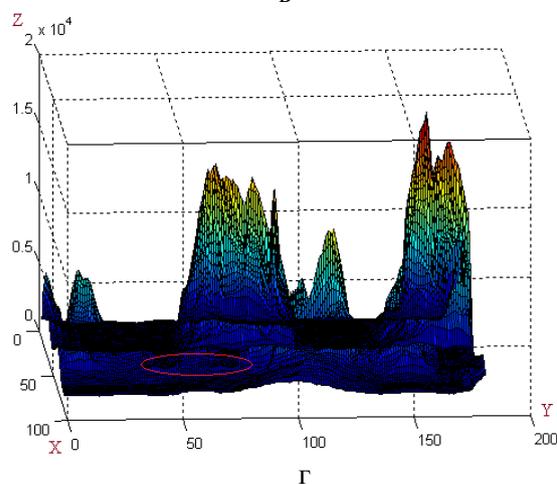
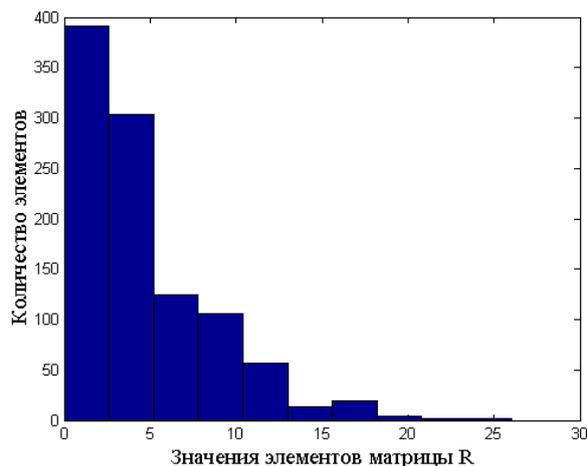


Рис.3. Пример выявления наличия клонирования в ЦИ в условиях дополнительных возмущений, включающих геометрические: а – оригинальное ЦИ; б – ЦИ, подвергнутое операции клонирования с последующим масштабированием с коэффициентом 0.2 и сохранением в формате Jpeg с $QF = 75$; в – часть фальсифицированного ЦИ, используемая для анализа; г – график функции f_G , отвечающей ЦИ, приведенному на рис.3(в) (выделены области совпадающих локальных минимумов).

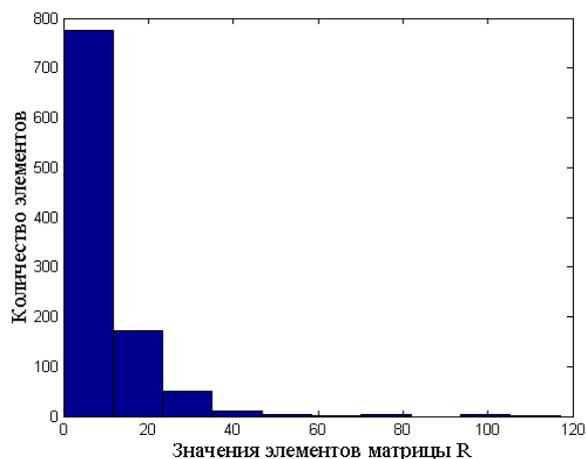
Количественно результаты эксперимента выглядели следующим образом. Для соответствующих блоков клона и прообраза максимальное значение элементов в матрице R , как правило, не превосходило 40 (среднее значение максимального элемента R по всем ЦИ составило 29, наименьшее – 13, наибольшее - 46), при этом максимум гистограмма достигала в условном нуле (столбец, включающий в себя нулевые значения R) более чем в 95% ЦИ. Для оригинальных ЦИ картина значительно отличалась: среднее значение максимального элемента R по всем ЦИ составило 71, а аргумент максимума гистограммы превосходил условный ноль для 37% ЦИ.

Таким образом, если B_{ij} и B_{kl} - блоки оригинального ЦИ, определяющие совпадающие по значению локальные минимумы графика функции f_G , интерполирующей элементы матрицы G , то в силу показанного выше, сдвиг каждого из них на один пиксель с большой долей вероятности приведет к тому, что блоки $B_{i-p,j-u}$, $B_{k-p,l-u}$, потеряв «старые» относительно B_{ij} и B_{kl} столбцы/строки (значения элементов которых возможно отличались между собой значительно) и приобретя «новые», уже не будут иметь минимальные отличия друг от друга, т.е. элемент $g_{i-p,j-u}$ в матрице G будет сформирован не за счет блока $B_{k-p,l-u}$, а элемент $g_{k-p,l-u}$ - не за счет блока $B_{i-p,j-u}$. Это приведет к тому, что с большой долей вероятности окрестности радиуса $r=1$ элементов g_{ij} , g_{kl} в матрице G будут отличаться друг от друга (хотя бы в одном элементе). Это отличие и может рассматриваться как показатель оригинальности блоков, определяющих совпадающие по значению локальные минимумы f_G .

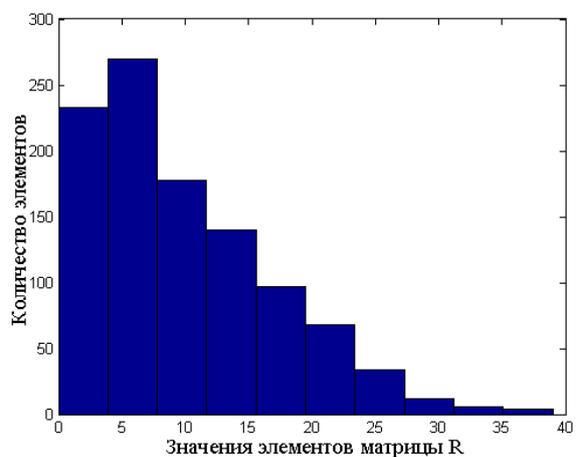
Можно предположить, что радиус r совпадающих по соответствующим значениям окрестностей элементов g_{ij} и g_{kl} для блоков B_{ij} и B_{kl} клона и прообраза может оказаться больше 1, причем этот радиус будет тем больше, чем больше размер $q \times q$ - блока клона/прообраза.



а



б



в

Рис.4. Пример типичных гистограмм значений элементов матрицы R для пар блоков, определяющих совпадающие по значению локальные минимумы функции f_G матрицы G : а – соответствующие блоки клона и прообраза; б, в – блоки, не принадлежащие клону и прообразу.

Для проверки такого теоретического заключения был проведен вычислительный

эксперимент, в ходе которого оригинальные ЦИ из экспериментального множества подвергались операции клонирования (клон и прообраз представляли из себя области, где часть, не принадлежащая их пересечению, содержала хотя бы один $q \times q$ -блок, где $q \in \{16, 24, 32\}$) с последующими возмущающими воздействиями, в качестве которых использовались наложение различных шумов, сжатие с потерями с различными коэффициентами качества QF . Для каждого такого ЦИ строилась матрица G , по которой устанавливалось месторасположение блоков B_{ij} и B_{kl} клона и прообраза; для элементов g_{ij} и g_{kl} в матрице G определялись совпадающие по значениям окрестности, для которых находился радиус r . Результаты эксперимента представлены в табл.1.

Таблица 1. Размер совпадающих по значениям окрестностей элементов матрицы G , отвечающих соответствующим $q \times q$ -блокам клона и прообраза

Размер $q \times q$ -блока	$q = 32$	$q = 24$	$q = 16$
Среднее значение r	7.1	3.67	1.89
Максимальное значение r	14	7	4
Минимальное значение r	1	1	1

Аналогичный эксперимент был проведен для оригинальных ЦИ: для них строилась матрица G , для которой определялись элементы, дающие пары совпадающих по значению локальных минимумов функции f_G , а затем находился радиус совпадающих по значениям окрестностей этих элементов. Результаты представлены в табл.2.

Таким образом, проведенный вычислительный эксперимент практически подтвердил выдвинутую выше гипотезу: наличие в матрице G совпадающих по значениям окрестностей ненулевого радиуса элементов g_{ij} и g_{kl} , определяющих совпадающие по значению локальные минимумы функции f_G , в подавляющем большинстве случаев присуще блокам клона и прообраза, и практически не свойственно для блоков оригинальных ЦИ.

Таблица 2 – Размер совпадающих по значениям окрестностей элементов матрицы G , отвечающих совпадающим по значению локальным минимумам функции f_G , построенной для оригинальных ЦИ

Размер $q \times q$ -блока	$q = 32$	$q = 24$	$q = 16$
Среднее значение r	0.15	0.24	0.35
Максимальное значение r	1	1	1
Минимальное значение r	0	0	0

С учетом всего вышесказанного основные шаги усовершенствованного метода выявления клона/прообраза в условиях дополнительных возмущающих воздействий будут выглядеть следующим образом.

1. $n \times m$ -матрицу F анализируемого ЦИ разбить на пересекающиеся $q \times q$ -блоки в соответствии с (1).
2. Для F построить $(n - q + 1) \times (m - q + 1)$ -матрицу G в соответствии с (3),(2).
3. Для матрицы G определить пары совпадающих по значению локальных минимумов функции f_G , которые являются указателем на возможные блоки клона/прообраза.

4. (Анализ выделенных пар блоков)

Для каждой пары B_{ij} и B_{kl} блоков, полученной на шаге 3:

- 4.1. Найти r - радиус совпадающих по значениям окрестностей элементов g_{ij} и g_{kl} в матрице G .

4.2. Если $r = 0$

то пара блоков B_{ij} и B_{kl} не принадлежат клону/прообразу, иначе

если $r > 1$

то пара блоков B_{ij} и B_{kl} принадлежат областям клона/прообраза;

если $r = 1$

то

- 4.2.1. Построить матрицу $R = |B_{ij} - B_{kl}|$;

- 4.2.2. Построить гистограмму значений

матрицы R . Для этой гистограммы определить аргумент t , в котором достигается ее максимум, а также M - максимальное значение R ;

если

$$(M > 46) \vee (t > 0)$$

то пара блоков B_{ij} и B_{kl} не принадлежит областям клона/прообраза, иначе пара блоков B_{ij} и B_{kl} принадлежит областям клона/прообраза.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для тестирования программной реализации метода был проведен вычислительный эксперимент, в котором были задействованы ЦИ из экспериментального множества, $q \in \{16, 24, 32\}$. Предложенное усовершенствование позволило сократить количество ошибок второго рода в среднем в 2.15 раза, по сравнению с базовым методом [14].

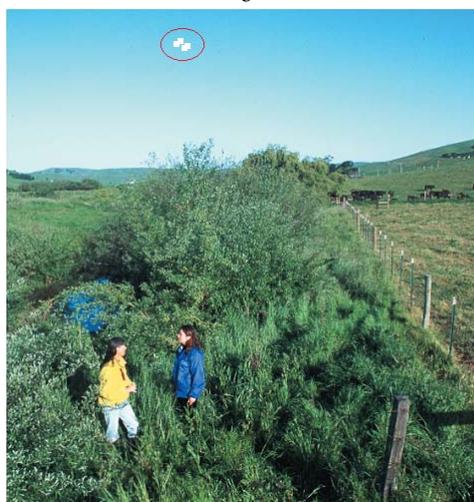
Проиллюстрируем результат работы усовершенствованного метода на примере анализа двух ЦИ, одно из которых является результатом клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий (представлено на рис.3(в)), а второе – оригинальное, выбрано из экспериментального множества в силу наличия у него значительной фоновой части. Блоки, получаемые в результате работы метода как принадлежащие областям клона/прообраза, окрашены на ЦИ в белый цвет. Без учета характерных особенностей окрестностей элементов матрицы G , определяющих совпадающие по значению локальные минимумы функции f_G , полученных в настоящей работе выше, при экспертизе изображений были выявлены блоки, реально принадлежащие областям клона/прообраза, а также блоки оригинальных областей (на рис.5(а, в) эти блоки выделены замкнутой кривой), приводя к ошибкам второго рода. Использование же усовершенствованного метода позволило устранить здесь ошибки 2-го рода (рис.5(б, г)).



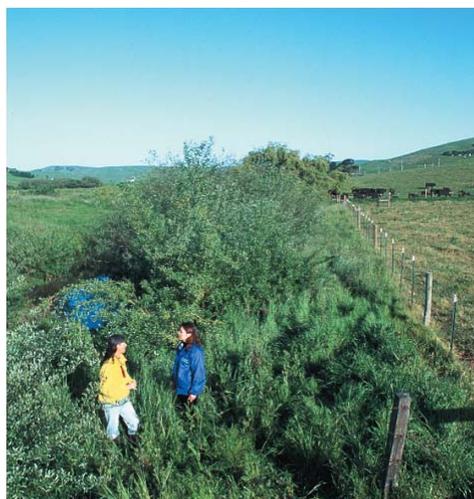
а



б



в



г

Рис.5. Иллюстрация усовершенствования метода выявления клонирования (блоки, не принадлежащие клону/прообразу, ограничены замкнутой кривой): а – результат работы базового метода на ЦИ, подвергнутом клонированию; б – результат работы усовершенствованного метода; в – результат работы базового метода на оригинальном ЦИ; г – результат работы усовершенствованного метода на оригинальном ЦИ.

Замечание 1. Везде в работе в качестве формального представления ЦИ использовалась одна $n \times m$ – матрица F , что имело своей целью упрощение изложения представленного материала и никак не ограничивает область применимости усовершенствованного метода выявления клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий монохромными ЦИ. Для цветного изображения в качестве матрицы F могут выступать, например, цветовые составляющие (схема RGB), матрица яркости (схема YUV).

Замечание 2. Разработанный в [14] метод, а также его усовершенствование, предложенное в настоящей работе, без труда могут быть адаптированы для экспертизы цифрового видео, представляющего из себя последовательность кадров-изображений.

IV. ВЫВОДЫ

В работе предложено усовершенствование метода выявления клонированных участков ЦИ в условиях дополнительных возмущающих воздействий, предложенного авторами ранее. Усовершенствование основано на учете установленных особенностей окрестностей элементов матрицы G , определяющих совпадающие по значению локальные минимумы функции f_G : в подавляющем большинстве случаев для соответствующих блоков B_{ij} и B_{kl} клона и прообраза в G существуют совпадающие по значениям окрестности g_{ij} и g_{kl} ненулевого радиуса, что не свойственно для блоков оригинального ЦИ. Предложенное усовершенствование, включающее в себя также анализ попиксельного отличия блоков ЦИ, «подозрительных» на принадлежность областям клона/прообраза, позволило сократить ошибки 2-го рода в среднем ($q \in \{16, 24, 32\}$) в 2.15 раза, по сравнению с базовым методом, взятым за основу. Для различных значений q величина сокращения была различной: максимальный эффект был достигнут для $q = 32$, где ошибки 2-го рода при использовании метода с предложенными усовершенствованиями были устранены полностью; для $q = 16$ их количество уменьшилось в 1.5 раза.

Литература (References)

- [1] Farid, H. Image Forgery Detection / H. Farid // IEEE Signal processing magazine. – 2009. — Pp.16-25.
- [2] Haouzia, A. Methods for image authentication: a survey / A. Haouzia, R. Noumeir // Multimedia Tools and Applications. — 2008. — No 39(1). — Pp. 1-46.
- [3] Redi, J. A. Digital image forensics: A booklet for beginners / J.A. Redi, W. Taktak, J.L. Dugelay // Multimedia Tools and Applications. — 2011. — No 51(1). — Pp. 133–162.
- [4] Kotkar, 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. — Vol.4. — No 3. — Pp.1437-1440.
- [5] Thajeel, S.A. State of The Art of Copy-move Forgery Detection Techniques: A Review / S.A. Thajeel, G.B. Sulong // IJCSI International Journal of Computer Science. — 2013. — №10(6). — Pp.174-183.
- [6] Huang, H. Detection of Copy-move forgery in digital image using SIFT algorithm / H. Huang, W. Guo, Y. Zhang // IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application. – 2008. — Pp.272–276.
- [7] Pan, X. Region duplication detection using image feature matching / X. Pan, S. Lyu // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. — 2010. — Vol.5. — No 4. – Pp. 857–867.
- [8] Amerini, I. Copy-move forgery detection and localization by means of robust clustering with J-linkage / I. Amerini, L. Ballan, R. Caldelli, A. del Bimbo, L. del Tongo, G. Serra // Signal Processing. — 2013. — Vol.28. — No 6. — Pp.659–669.
- [9] Parul Mishra, Nishchol Mishra, Sanjeev Sharma, and Ravindra Patel. Region Duplication Forgery Detection Technique Based on SURF and HAC. — Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal Volume 2013, Article ID 267691, 8 pages. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/267691>.
- [10] Zorilo, V.V. Metod vyyavleniya rezul'tatov razmytiya tsifrovogo izobrazheniya / V.V.Zorilo, A.A.Kobozeva // Suchasna spetsial'na tekhnika [Modern special equipment]. – 2010. – No 3(22). – Pp.72-82. (In Russian).
- [11] Kobozeva, A.A. Osnovy metoda vyyavleniya klonirovanykh uchastkov izobrazheniya, podvergnutykh korektsii tsveta / A.A.Kobozeva, E.Yu.Lebedeva // Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovogo institute KNU imeni Shevchenka [Proceedings of the Military Institute of Kyiv Shevchenko University]. – 2013. – No 44. – Pp.96-102. (In Russian).

- [12] Kobozeva, A.A. Osnovy metoda vyyavleniya klonirovanykh uchastkov izobrazheniya, podvergnutykh korektsii yarkosti / A.A.Kobozeva, E.Yu.Lebedeva // Suchasna spetsial'na tekhnika [Modern special equipment]. — 2013. — No 3. — Pp.17 – 24. (In Russian).
A.A.Kobozeva, S.N.Grigorenko // Informatsionnye tekhnologii v upravlenii, obrazovanii, nauke i promyshlennosti [Information technology in management, education, science and industry]: monografiya / Khar'kov, 2016.–566 p. – Pp.300-313.
- [13] Kobozeva, A.A. Teoreticheskie osnovy novogo podkhoda k resheniyu zadachi vyyavleniya rezul'tatov klonirovaniya v tsifrovom izobrazhenii, sokhranyonom v formate s poteryami / A.A. Kobozeva, S.N.Grigorenko // Reestratsiya, zberiganya i obrobka danykh [Registration, storage and processing]. – 2015. – T.17. – С. 21-30. (In Russian).
[15] NRCS Photo Gallery // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Available at: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (accessed: 26.07.2012).
- [14] Kobozeva, A.A. Zadacha obnaruzheniya rezul'tatov klonirovaniya v izobrazhenii i novyy podkhod k eyo resheniyu v usloviyakh dopolnitel'nykh vozmushcheniy /

Сведения об авторах.



Кобозева Алла Анатольевна – д.т.н., проф., зав. кафедры информатики и управления защитой информационных систем Одесского национального политехнического университета.
Email: alla_kobozeva@ukr.net



Григоренко Светлана Николаевна – инженер кафедры компьютеризованных систем управления Одесского национального политехнического университета.
Email: sn_torchuk2012@mail.ru