

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ВЫЯВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КЛОНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОСТОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

С.Н. Григоренко

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: sn_torchuk2012@mail.ru

В работе проведен сравнительный анализ с современными аналогами эффективности разработанного ранее метода выявления результатов клонирования в цифровом изображении в условиях его постобработки. Теоретический базис метода основывается на геометрическом представлении изображения и полученном необходимом условии принадлежности блоков матрицы изображения областям клона и прообраза. В качестве дополнительных возмущающих воздействий рассмотрены наиболее часто используемые для «маскировки» результатов клонирования сжатие изображения с потерями, наложение шума, размытие. В результате установлена высокая эффективность алгоритмической реализации метода независимо от вида и конкретного способа реализации программного средства, используемого при постобработке изображения, силы возмущающего воздействия, относительных размеров областей клона и прообраза, специфики анализируемого изображения. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: цифровое изображение, клон, прообраз, постобработки изображения, возмущающие воздействия, сжатие с потерями, размытие, наложение шума

Введение

Одним из наиболее широко и часто используемых программных инструментов при неавторизованных изменениях – фальсификациях цифрового изображения (ЦИ) является клонирование, реализованное во всех современных графических редакторах (Adobe Photoshop, Gimp и др.). При клонировании одна область изображения, называемая прообразом, копируется и вставляется в другую область этого же изображения, заменяя собой его оригинальную часть и образуя клон прообраза. Описанная процедура часто используется в случае, когда с ЦИ убирается «нежелательный» объект, изменяется взаимное расположение объектов, дублируется объект (объекты).

На практике ЦИ после выполнения клонирования подвергается дополнительным возмущающим воздействиям – постобработке с целью маскировки результатов клонирования, усложнения процесса его обнаружения, вызванного изменением значений параметров ЦИ в областях клона, прообраза.

Задача выявления такого рода фальсификации не является новой [1-3], однако существующие на сегодняшний день методы не обеспечивают достаточную эффективность ее решения. Даже в условиях отсутствия дополнительных возмущений нулевое значение ошибки первого рода, когда отсутствует пропуск фальсифицированного ЦИ, достигается лишь очень немногими алгоритмами [3]. Большинство из них выявляют области клона/прообраза, когда они составляют 0.85–1% ЦИ и более [3,4], оказываясь несостоятельными в случае малых относительных

размеров области фальсификации. Требуется окончательного решения задача выявления результатов клонирования в условиях значительных возмущающих воздействий.

В [5] был предложен, а в [6] усовершенствован новый блоково-ориентированный метод *KL* выявления результатов клонирования в ЦИ в условиях его постобработки, основанный на геометрическом представлении ЦИ, на основании которого для блоков матрицы изображения было получено формальное необходимое условие их принадлежности областям клона и прообраза [5]. Исходя из теоретических основ метода, его эффективность должна превосходить современные аналоги, не должна зависеть от специфики и силы дополнительных возмущающих воздействий, а также от относительных размеров клона и прообраза [6].

Цель статьи и постановка заданий

Целью статьи является проведение анализа эффективности работы алгоритмической реализации метода *KL* выявления результатов клонирования в условиях дополнительных возмущающих воздействий, в том числе значительных.

При тестировании алгоритмической реализации любого из рассматриваемых в работе методов эффективность оценивалась двумя количественными показателями *TPR* (true positive rate) и *FPR* (false positive rate) [3]:

$$TPR = \frac{\text{кол - во фальсифицированных ЦИ, определенных как фальсифицированные}}{\text{общее число рассмотренных фальсифицированных ЦИ}},$$

$$FPR = \frac{\text{количество оригинальных ЦИ, определенных как фальсифицированные}}{\text{общее количество рассмотренных оригинальных ЦИ}}.$$

Необходимо отметить, что показатель *FPR* является показателем ошибок второго рода или «ложных тревог».

Далее для показателя *TPR* полагается, что фальсифицированное ЦИ определено как фальсифицированное, если в нем обнаружено наличие областей клона и прообраза, причем эти области имеют непустое пересечение с реальными клоном и прообразом. Оригинальное ЦИ определяется как фальсифицированное и учитывается при вычислении показателя *FPR*, если в нем фиксируется наличие областей клона, прообраза.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи.

1. Провести сравнительный анализ эффективности *KL* в условиях отсутствия постобработки ЦИ после клонирования.
2. Определить характер возмущающих воздействий, наиболее часто используемых для «маскировки» результатов клонирования в ЦИ.
3. Провести сравнительный анализ эффективности *KL* в условиях наиболее часто используемых дополнительных возмущающих воздействий с современными аналогами.

Основная часть

Для сравнительного анализа эффективности метода *KL* была проведена серия вычислительных экспериментов, в каждом из которых были задействованы 400 цветных (цветовая схема RGB) ЦИ из базы NRCS [7], являющейся традиционной при тестировании алгоритмов обработки и анализа изображений, и 100 ЦИ, полученных непрофессиональными цифровыми камерами, размером 400×400 пикселей. Далее такое множество ЦИ называется экспериментальным множеством (ЭМ).

Единственным ограничением на работу метода *KL* [6] является принадлежность области, не принадлежащей пересечению клона и прообраза, хотя бы одного $q \times q$ -блока, для которого $q \geq 16$. Это говорит о принципиальной возможности эффективной работы метода при выявлении областей клона/прообраза малых относительных размеров. В силу этого везде в работе при проведении вычислительных экспериментов области клона и прообраза составляют $\ll 0.85\%$ ЦИ: как правило, от 0.098% до 0.39% ЦИ, хотя использовались и области клона, размер которых был меньше 0.098% изображения.

На первом этапе эксперимента ЦИ подвергались клонированию с последующим сохранением в формате без потерь (Tif). Таким образом, дополнительные возмущающие воздействия отсутствовали.

Анализировалась матрица одной цветовой составляющей ЦИ, которая выбиралась случайным образом. Анализ проводился с использованием 16×16 -блоков. Показатель *TPR* в этих условиях дал максимально возможное значение – $TPR=100\%$, значение показателя *FPR*, полученное при анализе с помощью метода *KL* оригинальных ЦИ из ЭМ, является сравнимым с лучшими по этому показателю современными аналогами. Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты сравнительного анализа эффективности разработанного метода *KL* и современных аналогов в условиях отсутствия постобработки клонированного ЦИ

| Метод | <i>TPR</i> (%) | <i>FPR</i> (%) |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| Fridrich (2003)[1] | 89 | 84 |
| Lowe (2004)[8] | 74 | 4 |
| Popescu and Farid (2004)[2] | 87 | 86 |
| Pan and Lyu (2010)[9] | 83 | 8.8 |
| Amerini(2011)[3] | 100 | 8 |
| Mishra (2013)[4] | 73.6 | 3.6 |
| Hashmi et al. (2014)[10] | 80 | 10 |
| Diaa et al. (2016)[11] | 96 | 2.9 |
| <i>KL</i> | 100 | 4.8 |

На втором этапе эксперимента проводился сравнительный анализ алгоритмической реализации разработанного метода *KL* с современными аналогами в условиях дополнительных возмущающих воздействий (ВВ). Рассмотрим наиболее часто используемые при маскировке результатов клонирования ВВ: сжатие с потерями, наложение шума, размытие ЦИ.

Результаты сравнительного анализа разработанного метода с современными аналогами в условиях сжатия с потерями (сохранения клонированного ЦИ в формате jpeg с различными коэффициентами качества *QF*) представлены на рис. 1 (для методов, отличных от *KL*, данные об их эффективности брались из соответствующих статей).

Полученные результаты свидетельствуют о превосходстве по эффективности с точки зрения *TPR* разработанным методом *KL* всех рассмотренных современных аналогов. При этом с уменьшением *QF* эффективность *KL* падает очень незначительно: при уменьшении *QF* в 5 раз (с 100 до 20) значение *TPR* уменьшилось лишь на 7.1% (с 99.2% до 92.1%). Необходимо отметить, что для $QF < 40$ тестирование современных аналогов практически не проводится. Исключение из рассмотренных методов составляет Amerini (2011), для которого проводилось тестирование в условиях сжатия с $QF = 20$. В этих условиях метод *KL* превосходит Amerini (2011) на 5.6% по значению *TPR*. Тестирование в условиях сжатия с $QF = 5$ ни одного из современных

аналогов не проводилось вообще, что может говорить об их несостоятельности в данных условиях, в то время как для разработанного метода $TPR=69.3\%$ (рис.1). Большинство существующих современных методов выявления результатов клонирования тестируются лишь в условиях $QF \geq 50$ (рис.1). Для $QF = 50$ разработанный KL превосходит Amerini (2011) – лучший из аналогов в этих условиях на 2.6% по показателю TPR . Для наиболее часто используемого при сжатии в формате Jpeg значения коэффициента качества $QF = 75$ алгоритмическая реализация KL превосходит лучший из аналогов Mahmood et al. (2016) по показателю TPR на 4.5%. Максимальное превосходство KL над рассмотренными аналогами наблюдается в условиях $QF = 60$ для Diaa et al. (2016) и составляет 6.7%. При этом области клона для разработанного метода всегда при его тестировании имели малые относительные размеры (меньше 0.85% ЦИ), в отличие от методов-аналогов.

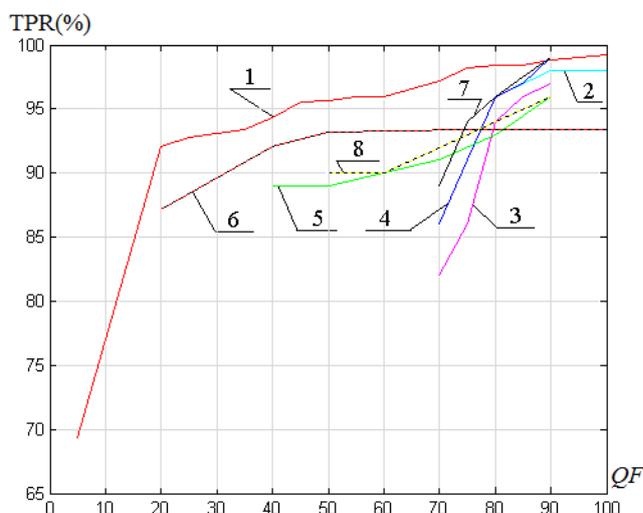


Рис. 1. Зависимость значения TPR от значения коэффициента качества QF , используемого при сжатии ЦИ после клонирования для различных методов: 1 - KL ; 2 - Lin et al. (2009) [12]; 3 - Bayram et al. (2009) [13]; 4 - Huang et al. (2011) [14]; 5 - Liu et al. (2011) [15]; 6 – Amerini (2011) [3]; 7 - Mahmood et al. (2016) [16]; 8 - Diaa et al. (2016) [11]

Проведем сравнительный анализ эффективности KL с современными аналогами в условиях наложения на ЦИ после клонирования гауссовского шума. Сила возмущающего воздействия количественно оценивается здесь разностным показателем искажения изображения «сигнал-шум» SNR [3]. Результаты эксперимента, в котором были задействованы ЦИ из ЭМ, приведены в табл. 2. Для методов, отличных от KL , данные об их эффективности брались из соответствующих статей, если информация о тестировании метода в определенных условиях отсутствовала, в табл. 2. ставился прочерк.

Как видно из полученных результатов, предложенный метод превосходит свои аналоги по эффективности с учетом TPR (максимально – на 5.8% для Amerini(2011) в условиях $SNR = 50dB$), при этом являясь состоятельным даже в тех условиях, в которых существовавшие до него методы вообще не работают – при $SNR = 5dB$ $TPR=67.8\%$. Необходимо отметить, что значения TPR при уменьшении SNR от 60 до 20 dB практически не меняется, имея высокое значение: $TPR \geq 98.6\%$.

Таблиця 2.

Значение *TPR* (%) для различных методов в условиях наложения на ЦИ после клонирования гауссовского шума, приводящего к искажению изображения, определяемого отношением «сигнал-шум» SNR (dB)

| Метод \ SNR (dB) | Popescu and Farid (2004) [2] | Lin et al. (2009) [12] | Bayram et al. (2009) [13] | Huang et al. (2011) [14] | Amerini (2011) [3] | Liu et al. (2011) [15] | Diaa et al. (2016) [11] | Deoli et al. (2016) [17] | Mahmood et al. (2016) [16] | <i>KL</i> |
|------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|
| 60 | — | — | — | — | — | — | — | 100 | — | 99.8 |
| 50 | — | — | — | — | 94.1 | — | — | — | — | 99.6 |
| 40 | 75 | — | 96 | 95 | 93.7 | 98 | — | — | 98.5 | 99.6 |
| 35 | 66 | 98 | 96 | 95 | — | 98 | 96 | 85 | 97.9 | 99.2 |
| 30 | 46 | — | 95 | 91 | 92 | — | 96 | — | 96.5 | 98.8 |
| 25 | 31 | — | 79 | 82 | — | — | 96 | — | 90 | 98.8 |
| 20 | 26 | 98 | 79 | 71 | 82.4 | 97 | 94 | — | 80 | 98.6 |
| 15 | — | — | — | — | — | 96 | 94 | — | — | 96.4 |
| 10 | — | 94 | — | — | — | — | — | — | — | 94.4 |
| 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 67.8 |

Данные по сравнению эффективностей различных методов в условиях Гауссова размытия изображения после клонирования приведены в табл. 3 (маска 5×5). Размытие по Гауссу осуществлялось с использованием маски фильтра нижних частот Гаусса, формируемой при помощи функции *fspecial* (среда Matlab), одним из параметров которой, наряду с размерами маски, является δ , который задает среднеквадратическое отклонение распределения Гаусса, используемое при формировании маски фильтра. Как видно, алгоритм, реализующий метод *KL*, превосходит современные аналоги по эффективности (с учетом показателя *TPR*), в том числе и лучший из них Mahmood et al. (2016), причем последний максимально на 4% (в условиях $\delta = 2$).

Таблиця 3.

Значение *TPR* (%) в условиях размытия по Гауссу ЦИ после клонирования для различных значений параметра гауссова фильтра δ с маской 5×5

| Метод \ δ | Fridrich (2003) [1] | Huang et al. (2011) [14] | Bayram et al. (2009) [13] | Mahmood et al. (2016) [16] | <i>KL</i> |
|------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------|
| 0.5 | 85 | 92 | 89 | 97 | 98.2 |
| 1 | 84 | 91 | 88 | 96 | 97.0 |
| 1.5 | 79 | 90 | 87 | 94 | 93.0 |
| 2 | 74 | 85 | 76 | 89 | 92.6 |
| 2.5 | 71 | 81 | 76 | 85 | 87.2 |
| 3 | 71 | 80 | 74 | 83 | 85.6 |

Выводы

Таким образом, серия проведенных вычислительных экспериментов подтвердила на практике высокую эффективность метода *KL* выявления результатов клонирования как при наличии, так и при отсутствии дополнительных возмущающих воздействий.

Сравнительный анализ эффективности метода выявления результатов клонирования в ЦИ *KL*, проведенный в условиях сжатия с потерями, наложения гауссовского шума, размытия ЦИ, показал, что для каждого из рассмотренных ВВ алгоритмическая реализация *KL* превосходит по эффективности современные аналоги, которые не рассчитаны на работу в условиях значительных ВВ (сжатие с $QF < 20$, наложение шума, приводящее к искажению изображения, оцениваемому $SNR < 10dB$), а также областей клона и прообраза малых относительных размеров ($< 0.85\%$ ЦИ). В условиях сжатия с потерями максимальное превосходство *KL* достигает 6.7%; в условиях наложения шума 5.8%; в условиях размытия *KL* превосходит лучший из аналогов максимально на 4% относительно показателя *TPR*. Значение показателя *FPR* сравнимо с лучшими из современных аналогов.

При отсутствии постобработки фальсифицированного ЦИ выявление результатов клонирования происходит в 100% ЦИ.

Таким образом, разработанный метод *KL* позволил повысить эффективность обнаружения клонирования и, как следствие, в целом эффективность выявления нарушения целостности ЦИ, что подтверждено на практике путем представительных вычислительных экспериментов.

Список литературы

1. Fridrich, J. Detection of copy-move forgery in digital images / J. Fridrich, D. Soukal, J. Lukas // Proceedings of Digital Forensic Research Workshop, IEEE Computer Society, Cleveland, OH, USA. – 2003. – Pp. 55–61.
2. Popescu, C. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions / C. Popescu, H. Farid // Technical Report TR 2004-515, Dartmouth College. – 2004. – Pp. 34–46.
3. Amerini, I. A SIFT-based forensic method for copy move attack detection and transformation recovery / I. Amerini, L. Ballan, R. Caldelli, A. Del Bimbo, G. Serra // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2011. – Vol. 6. – No 3. – Pp. 1099–1110.
4. Mishra P. Region Duplication Forgery Detection Technique Based on SURF and HAC / N. Mishra, S. Sharma, R. Patel // Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal. – 2013. – 98 p.
5. Кобозева, А.А. Задача обнаружения результатов клонирования в изображении и новый подход к ее решению в условиях дополнительных возмущений / А.А. Кобозева, С.Н. Григоренко // Информационные технологии в управлении, образовании, науке и промышленности: монография/ под ред. В.С. Пономаренко. –Х.: Издатель С. Г.Рожко, 2016. – С. 300–313.
6. Григоренко, С.Н. Усовершенствование метода обнаружения результатов фальсификации в цифровом изображении в условиях атак / А.А.Кобозева, С.Н. Григоренко // Проблемы региональной энергетики. Электронный журнал Академии наук Республики Молдова. – 2016. – №2 (31). – С. 93–103.
7. NRCS Photo Gallery: [Электронный ресурс] // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Режим доступа: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (Дата обращения: 26.07.2012).
8. Lowe, D.G. Distinctive image features from scale-invariant key points / D.G. Lowe // International journal of computer vision. – 2004. – Vol. 60. – No. 2. – Pp. 91 – 110.
9. 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.
10. Farukh, M. Copymove image forgery detection using efficient and robust method combining Undecimated Wavelet Transform and Scale invariant Feature Transform / M. Farukh, V. Anand, A. Keskar // AASRI conference on circuit and signal processing, Procedia 9. – 2014. – Pp. 84 – 91.
11. Diao M. Uliyan. Image Region Duplication Forgery Detection Based on Angular Radial Partitioning and Harris Key-Points / M. Diao, A. Hamid, W. Ainuddin // Symmetry. – 2016. – Vol 8. – Pp. 62 – 72.
12. Lin, H.J. Fast Copy-Move Forgery Detection / H.J. Lin, C.W. Wang // WSEAS Transactions on Signal Processing. – 2009. – Vol.5. – Pp. 188 – 197.

13. Bayram, S. An efficient and robust method for detecting copy-move forgery, in International Conference on Acoustics / S. Bayram, H. T. Sencar // Speech and Signal Processing, (ICASSP'09). IEEE, 2009. – Pp. 1053 – 1056.
14. Huang, Y. Improved DCT-based detection of copy-move forgery in images / Y. Huang, W. Lu, W. Sun, D. Long // Forensic Science International. – 2011. Pp. 178 – 84
15. Guangjie, L. A passive image authentication scheme for detecting region- duplication forgery with rotation / L. Guangjie, W. Junwen, L. Shiguo, W. Zhiqian // Journal of Network and Computer Applications. – 2011. –Pp. 1557 – 1565
16. Toqeer M. Copy-Move Forgery Detection Technique for Forensic Analysis in Digital Images / M. Toqeer, N. Tabassam, I. Aun, A. Rehan, S. Mohsin // Mathematical Problems in Engineering. – 2016. – Vol. 2016.
17. Manish D. A Fast and Robust Approach to Detect Copy-Move Forgery in Digital Images / D. Manish // International Journal of Computer Applications. –2016. – Vol. 137 – No.5. – Pp.29 – 33.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛОНУВАННЯ В УМОВАХ ПОСТОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ

С.М. Григоренко

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: sn_torchuk2012@mail.ru

У роботі проведений порівняльний аналіз із сучасними аналогами ефективності розробленого раніше методу виявлення результатів клонування в цифровому зображенні в умовах його постобробки. Теоретичний базис методу ґрунтується на геометричному представленні зображення й отриманій необхідній умові належності блоків матриці зображення областям клону й прообразу. У якості додаткових збурних дій розглянуті найбільш часто використовувані для «маскування» результатів клонування: стиск зображення із втратами, накладення шуму, розмиття. У результаті встановлена висока ефективність алгоритмічної реалізації методу незалежно від виду й конкретного способу реалізації програмного засобу, який використовується при постобробці зображення, сили збурної дії, відносних розмірів областей клону й прообразу, специфіки аналізованого зображення. Наведено результати обчислювальних експериментів.

Ключові слова: цифрове зображення, клон, прообраз, постобробка зображення, збурні дії, стиск із втратами, розмиття, накладання шуму.

COMPARATIVE ANALYSIS THE EFFICIENCY OF THE METHOD FOR DETECTION THE RESULTS IN THE CLONING IMAGE POSTPROCESSING

S.M. Grygorenko

Odessa national polytechnic university,
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: sn_torchuk2012@mail.ru

The comparative analysis of the effectiveness the modern analogs for previously developed method of cloning results in the detection of the digital image in the conditions of post-processing. The theoretical basis of the method is based on the geometric representation of the image and obtain the necessary supplies provided image matrix of blocks and areas clone prototype. As additional disturbances are considered the most frequently used for "masking" image compression cloning results with losses, noise, overlay, blur. In a result, it was set high performance algorithmic method implementation regardless of the type and the particular mode of implementation the software used in the post-processing of the image, the disturbance force, the relative sizes of areas and pre-image clone, the specificity of the analyzed image. There are presented results of computational experiments in this scientific work.

Keywords: digital image, clone, the prototype, image post-processing, disturbing influences, lossy compression, blur, noise.