

УДК 004.056.5

В.В. Зорило, канд. техн. наук, Одес. нац. політехн. ун-т

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЫТИЯ С МАЛЫМ РАДИУСОМ НА ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

**Введение.** В наше время цифровые сигналы стали неотъемлемой составляющей жизни человека. Как и любая информация, цифровые файлы требуют защиты от несанкционированного доступа. В частности, цифровые изображения (ЦИ), как известно, наиболее часто поддаются изменениям, как преднамеренным, так и нет, в связи с общедоступностью и простотой использования графических редакторов (Adobe Photoshop, Gimp и т.п.). В ряде случаев (использование ЦИ как доказательства в судебных разбирательствах или в качестве стеганографического контейнера) выявление этих изменений может свидетельствовать о недостоверности ЦИ либо об организации скрытого канала связи.

Как показывает практика, при обработке ЦИ часто применяют размытие, которое, учитывая необходимость сохранения визуальной устойчивости обрабатываемого изображения в связи с оговоренной ранее сферой его использования, должно быть настолько сильным, чтобы достичь цели (разрушить сообщение, зашифрованное в изображении и т.д.), и настолько слабым, чтобы оставаться визуально незамеченным. Под размытием в данной работе понимается размытие по Гауссу ввиду его частого применения, основным параметром которого является радиус (в пикселях); радиус размытия прямо пропорционален его силе.

Из известных методов выявления размытия [1...3] наиболее эффективным является метод [1], основанный на общем подходе к анализу состояния и технологии функционирования информационной системы (ОПАИС) [4], с помощью которого возможно эффективное детектирование размытия по Гауссу, начиная с радиуса один пиксель, независимо от формата хранения ЦИ до и после размытия. Однако графические редакторы, такие как, например, Adobe Photoshop, дают возможность осуществлять размытие по Гауссу с радиусом, меньшим единицы, вносящее необратимые изменения в матрицу ЦИ и не позволяющее выявить такой вид фальсификации как, например, клонирование, однако визуально неуловимое.

В современных источниках вопрос выявления размытия с радиусом, меньшим единицы, не освещен. В связи с этим *цель* данной работы — исследование характерных особенностей матрицы цифрового изображения в условиях его размытия по Гауссу с малым радиусом.

Под размытием с малым радиусом будем понимать размытие по Гауссу с радиусом, меньшим единицы.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие *задачи*:

— Выбор математических параметров, отвечающих цифровому изображению, характеризующих изменение его состояния.

— Исследование влияния размытия с разным радиусом на свойства матрицы цифрового изображения.

— Выделение характерных особенностей выбранных при решении задачи 1 математических параметров, позволяющих детектировать размытие с малым радиусом.

**Основная часть.** Наиболее эффективным методом выявления размытия является метод, основанный на ОПАИС. В соответствии с ОПАИС любой цифровой сигнал, в частности, ЦИ,

DOI: 10.15276/opu.1.43.2014.29

© В.В. Зорило, 2014

может быть представлен в виде матрицы; любая матрица однозначно определяется полным набором формальных параметров – набором сингулярных чисел и сингулярных векторов [4].

Для достижения поставленной цели в качестве формальных параметров, отвечающих матрице ЦИ, выбраны сингулярные числа (СНЧ) блоков  $8 \times 8$  его матрицы в связи с тем, что они являются хорошо обусловленными [5], то есть величина воздействия на матрицу ЦИ соизмерима с величиной возмущения СНЧ.

Ранее было исследовано влияние размытия с радиусом один пиксель и выше на СНЧ блоков матрицы ЦИ и установлено, что с увеличением радиуса размытия скорость роста наименьших из них уменьшается вплоть до сравнимости с нулем [1]. Таким образом, СНЧ, соответствующие высоким и средним частотам сигнала ЦИ, уменьшаются. При более детальном и представительном анализе было установлено, что это не всегда так, в частности, при размытии с малым радиусом. В подтверждение этому в данной работе приведены результаты вычислительного эксперимента, который заключается в следующем.

Цифровые изображения различного качества и формата хранения в количестве 200 штук размером  $640 \times 480$  пикселей были размыты по Гауссу с различными радиусами: 0,1; 0,5; 1, 2 и 5 пикселей. Для блоков  $8 \times 8$  матрицы каждого ЦИ до и после размытия строились сингулярные разложения и анализировались сингулярные числа.

Получим так называемые матрицы сингулярных чисел (МСЧ) размером  $640 \times 60$  (в общем случае для матрицы размером  $m \times n$  МСЧ будет иметь размеры  $m \times [n/8]$ ), состоящие из блоков сингулярных чисел размером  $8 \times 1$ , отвечающих блокам стандартного разбиения матрицы яркости пикселей ЦИ. Поставим в соответствие ЦИ матрицу, которая является результатом разности матриц сингулярных чисел ЦИ после размытия и до размытия — матрицу разности (МР). Отрицательные элементы в МР соответствуют тем СНЧ, которые после размытия увеличились (рис. 1).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.7563	2.4021	-3.6929	-0.9429	0.0544	-2.3871	-0.1242	-1.7930
2	2.7954	1.3988	8.1612	14.0304	10.1909	5.0590	5.8872	1.1760
3	0.6148	3.3036	7.1452	12.5662	-0.3459	4.2687	3.2378	9.8246
4	-0.3104	-0.0211	8.3520	0.2202	-0.2537	0.1307	0.1463	-0.5919
5	-0.0227	-0.1077	0.1405	-0.2662	0.0827	-0.2440	0.1772	-0.1166
6	-0.1760	0.1404	0.1994	-0.0386	-0.0820	-0.0414	0.1285	-0.0961
7	0.0213	0.0488	0.0614	-0.2365	0.0892	0.0326	0.0910	-0.0661
8	-0.0902	-0.0818	0.0151	-0.0931	0.0508	0.0657	0.0554	0.0822

Рис. 1. Фрагмент матрицы разности для ЦИ, размытого по Гауссу с радиусом 0,5

Для размытия с радиусами от одного пикселя большинство СНЧ в блоках после размытия уменьшаются, что соответствует результатам [1]. Однако часто встречаются блоки, в которых максимальные СНЧ после размытия стали больше. Также после размытия могут увеличиваться некоторые СНЧ, отличные от максимального. Такая же качественная картина наблюдается и для размытия с малым радиусом (табл. 1). Как видно, для всех радиусов число отрицательных значений МР практически одинаково. Исключением стало размытие с радиусом 0,1 пиксель. Данное размытие вообще не повлияло на СНЧ матрицы изображения, из чего можно сделать вывод о том, что размытие с данным радиусом не реализовано в графическом редакторе.

Таблица 1

Отрицательные значения МР для разных радиусов размытия

Радиус размытия	0,1	0,5	1	2	5
Количество отрицательных значений МР	0	807	814	819	787
Количество отрицательных значений МР, %	0	2,10	2,11	2,13	2.05

Установлено соответствие между частотным и сингулярным спектрами блоков матрицы ЦИ: максимальное СНЧ в блоке соответствует, главным образом, низким частотам сигнала блока изображения; с уменьшением СНЧ в блоках вклад низких частот уменьшается, а вклад высоких становится больше [5]. При размытии любое СНЧ в блоке может увеличиться. Проанализируем МР для разных радиусов при условии, что максимальное СНЧ изъято из рассмотрения. В этом случае характерным является то, что для ЦИ, размытых с малым радиусом, количество отрицательных значений МР увеличивается с уменьшением радиуса размытия (табл. 2), что может быть использовано при разработке методов/алгоритмов выявления результатов размытия ЦИ.

Таблица 2

Отрицательные значения МР для разных радиусов размытия

Радиус размытия	0,1	0,5	1	2	5
Количество отрицательных значений МР	0	218	158	116	41
Количество отрицательных значений МР, %	0	0,56	0,41	0,30	0,10

**Выводы.** Исследовано влияние размытия по Гауссу разного радиуса на матрицу цифрового изображения. Выявлены особенности математических параметров — сингулярных чисел блоков его матрицы, характеризующие размытие по Гауссу, в частности, с малым радиусом.

Характерной особенностью СНЧ, позволяющей детектировать размытие с малым радиусом, является увеличение после размытия определенного их числа по отношению к общему числу блоков матрицы ЦИ. Дальнейшие исследования этого явления будут направлены на разработку алгоритма выявления размытия с малым радиусом. Установление порогов для количества отрицательных значений МР позволит принципиально не только констатировать сам факт размытия, но и оценить его радиус.

#### Литература

1. Зорило, В.В. Метод выявления результатов размытия цифрового изображения / В.В. Зорило, А.А. Кобозева // Сучасна спеціальна техніка. — 2010. — № 3(22). — С. 52 — 63.
2. Бобок, И.И. Адаптация стеганоаналитического метода, основанного на теории возмущений, для задачи выявления нарушения целостности цифрового изображения / И.И. Бобок, Е.В. Малахов // Информатика та математичні методи в моделюванні. — 2012. — Т. 2, № 4. — С. 297 — 303.
3. Кольцов, П.П. Оценка размытия изображения / П.П. Кольцов // Компьютерная оптика. — 2011. — Т. 35, № 1. — С. 95 — 102.
4. Кобозева, А.А. Математические основы общего подхода к обнаружению фальсификации цифрового сигнала / А.А. Кобозева // Материалы Международной научно-технической конференции “Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2008”. — 2008. — Т. 2. — С. 32 — 35.
5. Кобозева, А.А. Основы общего подхода к решению проблемы обнаружения фальсификации цифрового сигнала / А.А. Кобозева // Электромашиностроения та електрообладнання. — 2009. — Вип. 72. — С. 35 — 41.

#### References

1. Zorilo, V.V. Metod vyavleniya rezul'tatov razmytiya tsifrovogo izobrazheniya [Method for detection of digital image blur results] / V.V. Zorilo, A.A. Kobozeva // Suchasna special'na tehnika [Modern Special Technique]. — 2010. — # 3(22). — pp. 52 — 63. (in Russian)
2. Bobok, I.I. Adaptatsiya steganoanaliticheskogo metoda, osnovannogo na teorii vozmushchenii, dlya zadachi vyavleniya narusheniya tselostnosti tsifrovogo izobrazheniya [Adaptation of steganalysis method based on perturbation theory for integrity violation detection of digital images] / I.I. Bobok, E.V. Malakhov // Informatyka ta matematychni metody v modeljuvanni [Informatics and Mathematical Methods in Simulation]. — 2012. — Vol. 2, # 4. — pp. 297 — 303. (in Russian)
3. Koltsov, P.P. Otsenka razmytiya izobrazheniya [Image blur estimation] / P.P. Koltsov // Komp'yuternaya optika [Computer Optics]. — 2011. — Vol. 35, # 1. — pp. 95 — 102. (in Russian)

4. Kobozeva, A.A. Matematicheskie osnovy obshchego podkhoda k obnaruzheniyu fal'sifikatsii tsifrovogo signala [Mathematical foundations of a common approach to the discovery of digital signal falsification] / A.A. Kobozeva // Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Iskusstvennyi intellekt. Intellektual'nye sistemy II-2008" [Proc. of the International Scientific and Technical Conference "Artificial Intelligence. Intelligent Systems AI'2008"]. — 2008. — Vol. 2. — С. 32 — 35. (in Russian)
5. Kobozeva, A.A. Osnovy obshchego podkhoda k resheniyu problemy obnaruzheniya fal'sifikatsii tsifrovogo signala [Foundations of general approach to a problem of detection of digital signal forgery] / A.A. Kobozeva // Elektromashynobuduvannja ta elektroobladnannja [Electrical Machine-Building and Electrical Equipment]. — 2009. — # 72. — pp. 35 — 41. (in Russian)

#### АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

*В.В. Зоріло. Вплив розмиття малого радіусу на формальні параметри цифрового зображення.* Важливим завданням в сучасному світі інформаційних технологій є захист інформаційних систем, зокрема, виявлення порушень цілісності цифрових зображень. Часто при порушенні цілісності зображення піддається розмиттю. Серед відомих методів виявлення розмиття жоден не здатний виявляти розмиття з радіусом, меншим одиниці. Однак розмиття з таким радіусом може мати місце у зв'язку з тим, що візуально практично непомітне, але призводить до незворотних змін матриці цифрового зображення. Методологія дослідження ґрунтується на використанні загального підходу до аналізу стану та технології функціонування інформаційних систем. Дослідження в даній статті спрямовані на виявлення результатів обробки розмиттям цифрових зображень після їх фальсифікації. У результаті дослідження виявлено деякі особливості, що дозволяють надалі детектувати розмиття цифрового зображення з радіусом, меншим одиниці, що дозволить підвищити ефективність комплексної системи захисту інформації.

*Ключові слова:* цифрове зображення, розмиття зображення, фальсифікація зображення, сингулярні числа.

*В.В. Зоріло. Влияние размытия с малым радиусом на формальные параметры цифрового изображения.* Важной задачей в современном мире информационных технологий является защита информационных систем, в частности, выявление нарушений целостности цифровых изображений. Часто при нарушении целостности изображения поддается размытию. Среди известных сегодня методов выявления размытия ни один не способен выявлять размытие с радиусом, меньшим единицы. Однако размытие с таким радиусом может иметь место в связи с тем, что визуально практически не заметно, но приводит к необратимым изменениям матрицы цифрового изображения. Методология исследования основана на использовании общего подхода к анализу состояния и технологии функционирования информационных систем. Исследования в данной статье направлены на выявление результатов обработки размытием цифровых изображений после их фальсификации. В результате исследования выявлены некоторые особенности, позволяющие в дальнейшем детектировать размытие цифрового изображения с радиусом, меньшим единицы, что позволит повысить эффективность комплексной системы защиты информации.

*Ключевые слова:* цифровое изображение, размытие изображения, фальсификация изображения, сингулярные числа.

*V.V. Zorilo. Influence blur off to a small radius on the digital image's formal parameters.* Information system security, in particular, identifying the violation of the integrity of digital images is considered an important task in today's world of information technologies. When the integrity is violated, the image is often blurred. None of the currently known blur detection methods can detect a blur circle of a radius less than one. Although practically non visible, blurring with such a radius can occur and result in nonreversible changes in the digital image matrix. Methodology of investigation is based on using general approach to the analysis of the state and technology of information systems functioning. Investigation of this paper is aimed at revealing results of post-processing made by blurring of digital images after their falsification. As a result of investigation there were found some peculiar properties, allowing detecting blurring of digital image with a radius less than one, to increase efficiency of the complex information security systems.

*Keywords:* digital image, image blurring, image falsification, singular values.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Кобозева А.А.

Поступила в редакцию 25 апреля 2014 г.