

**ВИЯВЛЕННЯ «РОЗУМНОГО РОЗМИТТЯ» ЯК ПОРУШЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ
ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ****О.Ю. Лебедєва, В.В. Зоріло, О.А. Карпова**Одеський національний політехнічний університет,
просп.Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail:whiteswanhelena@gmail.com

Виявлення порушень цілісності цифрового зображення – одна з важливих задач захисту інформації. При підробці зображення часто використовують розмиття, зокрема фільтр «розумне розмиття», який впливає на фон і залишає контури чіткими. Відомими методами виявлення розмиття обробку даним фільтром важко виявити, що спонукає шукати нове рішення. Метою роботи є виявлення обробки цифрового зображення фільтром «Розумне розмиття» шляхом модифікації методу, заснованого на аналізі сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення. Методи досліджень базуються на використанні загального підходу до аналізу стану та технології функціонування інформаційної системи. Розроблено метод виявлення «розумного» розмиття, отримано кількісні оцінки ефективності методу в термінах помилок першого та другого роду: помилки 1 роду – 3%, 2 роду – 1,5%. Розроблений у даній роботі метод може бути використано при розробці комплексної системи захисту інформації для перевірки цифрових зображень на наявність їх постобробки після можливої фальсифікації або при виявленні стеганографічної атаки. Можливим напрямком подальших досліджень є продовження роботи з аналізу впливу інших видів розмиття цифрового зображення на властивості його матриці для розширення області застосування модифікованого методу.

Ключові слова: цифрове зображення, фальсифікація цифрового зображення, «розумне розмиття», матриця цифрового зображення, сингулярні числа.

Вступ

Поширеність, доступність та простота у використанні різноманітного програмного забезпечення для обробки та редагування цифрових зображень призвела до їх фальсифікації у великих масштабах. Через це виникла необхідність у вдосконаленні вже існуючих та розробці нових алгоритмів та методів для виявлення порушення цілісності цифрових зображень (ЦЗ), що є невід'ємною складовою сучасних комплексних систем захисту інформації.

Наукові дослідження та розробки у цьому напрямку ведуться багатьма вченими у всьому світі. Проте відомі з відкритих джерел сучасні методи та алгоритми виявлення порушень цілісності зображень не завжди є ефективними, а також мають великі недоліки. Наприклад, існує багато методів, де використовуються цифрові водяні знаки, але більшість технічних засобів для отримання цифрових зображень та відео не мають можливості попереднього занурення цифрового водяного знаку, що частіш за все робить нереальним використання цих методів [1]. Досить активними у розвитку є методи виявлення фальсифікації ЦЗ, які виконують аналіз exif-даних, але вони лише констатують факт можливого редагування ЦЗ та не локалізують область фальсифікації [2].

Практика та відомі з відкритих джерел факти показують, що для обробки цифрового зображення часто використовують такий інструмент, як розмиття. Ефективним методом виявлення розмиття наразі є метод, заснований на аналізі сингулярних чисел (СНЧ) блоків матриці цифрового зображення [3]. Даний метод використовує швидкість росту найменших сингулярних чисел для виявлення таких

видів розмиття як розмиття за Гауссом, розмиття в русі. Дані види розмиття, реалізовані, наприклад, в графічному редакторі AdobePhotoshop, впливають головним чином на контури зображення, що впливає головним чином на найменші сингулярні числа: швидкість їх росту зменшується. Проте є ще один популярний фільтр зазначеного графічного редактору – «розумне» розмиття. Даний фільтр розмиває фон, залишаючи контури чіткими. Виявлення даного виду розмиття відомим методом частіше дає хибні результати у вигляді помилок першого роду (до 30%), що спонукає дослідити детально вплив «розумного» розмиття на математичні параметри (матриці) цифрового зображення.

Мета роботи

Метою даної роботи є виявлення «розумного» розмиття цифрового зображення шляхом модифікації методу, заснованого на аналізі сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення.

Основна частина

Оскільки в основі фільтру «розумне» розмиття лежить розмиття усього окрім контурів, то частка фону в цифровому зображенні після обробки стане більшою за рахунок розмиття нечітких контурів. В цей самий час контури, що були чіткими до розмиття, лишатимуться такими і після. Обчислювальний експеримент показав, що після обробки деякі сингулярні числа збільшуються. На прикладі цифрового зображення, представленого на рисунку 1, розглянемо вплив «розумного» розмиття на сингулярні числа блоків 8×8 , отриманих за допомогою стандартної розбивки його матриці [4].



Рис. 1. Оригінальне зображення

Як бачимо на рисунку 2, дійсно, деякі сингулярні числа збільшуються в результаті обробки. Щоб зручніше було бачити даний ефект, від матриці сингулярних чисел оригінального ЦЗ віднімемо матрицю сингулярних чисел обробленого зображення (рис.3).

Як бачимо, не можна сказати певно, які саме сингулярні числа збільшуються в блоках, проте очевидно, що дану особливість можна використати для виявлення даного виду розмиття цифрового зображення.

531,229	469,503	413,725	397,678	396,182	423,854	426,249	450,652
8,96193	12,5403	10,5984	10,3551	11,9294	10,0598	10,4218	12,1709
7,46241	9,46935	9,17458	8,47127	10,8741	9,79565	8,28681	8,07548
5,11614	6,16596	6,27723	4,03754	7,65027	8,4415	6,53117	7,93263
3,65982	4,61563	4,72728	2,73436	6,59548	5,05442	4,62604	4,62407
3,06919	2,08904	3,69734	1,81966	1,89974	2,97611	3,42039	2,10065
0,94862	1,5846	3,10196	0,91867	1,22273	1,10224	1,38946	2,0158
0,31321	0,41385	0,29524	0,49634	0,37428	0,1205	0,02824	1,09677

а

530,732	472,035	412,403	398,396	395,635	421,992	428,274	451,695
8,312	11,9481	11,4658	10,7214	12,7472	11,5827	11,0423	14,6338
7,22052	9,20825	8,44183	9,1371	9,36465	9,64593	8,04784	8,24214
4,90431	4,75626	5,80179	4,12288	8,30317	8,28432	5,80664	7,53503
4,06288	3,92507	3,80482	2,32577	3,51018	3,30399	4,00838	4,02028
1,64489	0,98372	3,16109	2,08293	1,45145	1,48103	1,33101	2,05103
0,79551	0,80007	0,29485	0,69469	0,66738	0,36165	1,12076	0,89356
1,16E-14	9,54E-16	3,46E-15	1,66E-14	3,90E-15	2,02E-14	5,32E-15	1,37E-15

б

Рис. 2. Фрагмент матриці сингулярних чисел блоків ЦЗ: а – оригінального ЦЗ; б – розмитого

0,4964	-2,5321	1,3222	-0,7179	0,5471	1,8621	-2,0251	-1,0421
0,6499	0,5922	-0,8674	-0,3663	-0,8178	-1,5229	-0,6205	-2,4629
0,2419	0,2611	0,7328	-0,6658	1,5095	0,1497	0,2390	-0,1667
0,2118	1,4097	0,4754	-0,0853	-0,6529	0,1572	0,7245	0,3976
-0,4031	0,6906	0,9225	0,4086	3,0853	1,7504	0,6177	0,6038
1,4243	1,1053	0,5362	-0,2633	0,4483	1,4951	2,0894	0,0496
0,1531	0,7845	2,8071	0,2240	0,5554	0,7406	0,2687	1,1222
0,3132	0,4139	0,2952	0,4963	0,3743	0,1205	0,0282	1,0968

Рис. 3. Фрагмент матриці різниці

Для встановлення порогового значення виявлення первинного розмиття було використано 300 цифрових зображень у форматі без втрат розміром 1000×1000 пікселів та 300 ЦЗ у форматі без втрат розміром 2000×2000 пікселів. У зв'язку з тим, що розмір досліджуваного зображення може виявитися будь-яким, розглянемо відсоткове відношення кількості сингулярних чисел, які збільшилися після розмиття, до загальної кількості сингулярних чисел матриці.

У таблиці 1 представлені дані про кількість збільшених сингулярних чисел після розмиття.

Також цікаво, як повторне розмиття вплине на збільшення сингулярних чисел. Результати представлено в таблиці 2.

Таблиця 1.

Фрагмент таблиці з кількістю збільшених СНЧ після розмиття оригінального ЦЗ

№	ЦЗ 1000×1000 пікселів		ЦЗ 2000×2000 пікселів	
	Кількість збільшених СНЧ, шт.	Кількість збільшених СНЧ, %	Кількість збільшених СНЧ, шт.	Кількість збільшених СНЧ, %
1	50851	40,6808	214300	42,86
2	46490	37,192	186281	37,2562
3	51949	41,5592	194225	38,845
4	42512	34,0096	196004	39,2008
5	52064	41,6512	193492	38,6984
6	49666	39,7328	186730	37,346
7	43323	34,6584	188486	37,6972
8	49117	39,2936	211104	42,2208
9	48260	38,608	162081	32,4162
10	50506	40,4048	201943	40,3886
11	47155	37,724	181876	36,3752
12	48080	38,464	208652	41,7304
13	49763	39,8104	202762	40,5524
14	50745	40,596	215581	43,1162
15	47852	38,2816	198265	39,653

Таблиця 2.

Кількість СНЧ, що зросли після повторного розмиття

№	Первинне розмиття з $R=1$, $P=1$		Первинне розмиття з $R=2$, $P=1$		Первинне розмиття з $R=2$, $P=2$	
	Кількість збільшених СНЧ, шт	Кількість збільшених СНЧ, %	Кількість збільшених СНЧ, шт	Кількість збільшених СНЧ, %	Кількість збільшених СНЧ, шт	Кількість збільшених СНЧ, %
1	43150	34,52	39228	31,3824	32472	25,9776
2	33473	26,7784	31884	25,5072	33802	27,0416
3	41013	32,8104	38044	30,4352	33666	26,9328
4	28391	22,7128	28520	22,816	34697	27,7576
5	34420	27,536	33051	26,4408	36638	29,3104
6	35851	28,6808	33380	26,704	32245	25,796
7	43508	34,8064	40185	32,148	33061	26,4488
8	32185	25,748	30689	24,5512	32795	26,236
9	38325	30,66	36132	28,9056	33215	26,572
10	28966	23,1728	28381	22,7048	34371	27,4968
11	36715	29,372	34294	27,4352	36465	29,172
12	33390	26,712	31759	25,4072	34082	27,2656
13	26882	21,5056	26309	21,0472	34724	27,7792
14	24718	19,7744	24789	19,8312	33206	26,5648
15	40841	32,6728	37733	30,1864	31193	24,9544

Завдяки аналізу отриманих даних було встановлено, що у якості порогового значення, що дозволяє відділити більшість розмитих експертом вперше ЦЗ від повторно розмитих, доцільно використовувати значення – 32,95%, що підтверджено експериментально. На основі даного аналізу розробимо алгоритм методу виявлення «розумного» розмиття.

Нехай I – $N \times M$ -матриця цифрового зображення, що було обрано для перевірки.

Крок 1. Виділити із матриці I підматрицю R , що відповідає червоному кольоровому каналу. Виділити матрицю C $k \times l$ -розміру, де k та l – найближчі значення до N та M , які діляться на 8.

Крок 2. Розбити матрицю C стандартним чином на блоки 8×8 :

$$C_{ij}, i = 1, 2, \dots, k/8, \quad j = 1, 2, \dots, l/8.$$

Крок 3. Скласти матрицю сингулярних чисел: побудувати сингулярне розкладання [5] для кожного блоку C_{ij} :

$$C_{ij} = U_{ij} \sum_{ij} V_{ij}^T,$$

Де U_{ij} , V_{ij} – ортогональні матриці лівих та правих сингулярних векторів C_{ij} відповідно, розміром 8×8 ; $\sum_{ij} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_8)$ – матриця сингулярних чисел, для якої виконується:

$$\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_8 \geq 0.$$

Крок 4. Отримане на перевірку ЦЗ розмити у AdobePhotoshop фільтром «Розумне розмиття» з наступними параметрами: радіус = 1, порогове значення = 1, якість = «Висока».

Повторити дії пунктів 1-3 для розмитого експертом зображення. R_{ij} – отримана матриця сингулярних чисел.

Крок 5. Знайти різницю матриць СНЧ оригінального та розмитого ЦЗ:

$$RAZN = \sum_{ij} -R_{ij}.$$

Крок 6. Обчислити кількість *count* від'ємних значень матриці $RAZN$.

Крок 7. Обчислити кількість усіх СНЧ:

$$s = \left(h + \frac{w}{8} \right).$$

Крок 8. Знайти відношення $count / s$ та виконати порівняння:

Якщо

$$\frac{count}{s} * 100 < 32.95$$

то

зображення розмите

інакше –

зображення оригінальне.

Аналіз ефективності даного методу в таблиці 3.

Таблица 3.

Эффективность метода выявления «разумного размытия»

Помилки першого роду	Помилки другого роду
3%	1.5%

Висновки

В даній роботі на основі виявленої особливості поведінки сингулярних чисел блоків, отриманих за допомогою стандартного розбиття матриці цифрового зображення, при «розумному розмитті» розроблено метод виявлення обробки цифрового зображення даним фільтром. Кількість помилок 1 роду розробленого методу складає 3%, кількість помилок 2 роду – 1.5%.

Предметом подальшого розвитку розробленого методу є проведення досліджень для вдосконалення точності відокремлення оригінальних цифрових зображень від таких, цілісність яких порушена, а також розширення спектру досліджуваних параметрів розмиття.

Список літератури

1. Yeung M.M., Mintzer F., Yeung M.M. An Invisible Watermarking Technique for Image Verification. *ICIP 1997: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, 26-29 October 1997. Santa Barbara, California, USA, 1997. №2. P. 680-683.
2. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. Москва: СОЛОН-Пресс, 2002. 272 с.
3. Зорило В.В. Методы повышения эффективности выявления нарушения целостности цифрового изображения. *Інформаційна безпека*. 2013. № 2. С. 34-41.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1070 с.
5. Деммель Д. Вычислительная линейная алгебра: теория и приложения. М.: Мир, 2001. 430 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ «УМНОГО РАЗМЫТИЯ» КАК НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Е.Ю. Лебедева, В.В. Зорило, А.А. Карпова

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: whiteswanhelena@gmail.com

Выявление нарушений целостности цифрового изображения - одна из важных задач защиты информации. При подделке изображения часто используют размытие, в частности фильтр «умное размытие», который влияет на фон и оставляет контуры четкими. Известными методами выявления размытия обработку данным фильтром трудно обнаружить, что побуждает искать новое решение. Целью работы является выявление обработки цифрового изображения фильтром «Умное размытие» путем модификации метода, основанного на анализе сингулярных чисел блоков матрицы цифрового изображения. Методы исследований базируются на использовании общего подхода к анализу состояния и технологии функционирования информационной системы. Разработан метод выявления «умного» размытия, получена количественная оценка эффективности метода в терминах ошибок первого и второго рода: ошибки 1 рода - 3%, 2 рода - 1,5%. Разработанный в данной работе метод может быть использован при создании комплексной системы защиты информации для проверки цифровых изображений на наличие

их постобработки после возможной фальсификации или при обнаружении стеганографической атаки. Возможным направлением дальнейших исследований является продолжение работы по анализу влияния других видов размытия цифрового изображения на свойства его матрицы для расширения области применения модифицированного метода.

Ключевые слова: цифровое изображение, фальсификация цифрового изображения, умное размытие, матрица цифрового изображения, сингулярные числа.

DETECTING «SMART BLUR» AS A DIGITAL IMAGE INTEGRITY VIOLATION

O.Yu. Lebedeva, V.V. Zorilo, O.A. Karpova

Odessa National Polytechnic University,

1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: whiteswanhelena@gmail.com

Detection of violations of the integrity of the digital image is one of the important tasks of information protection. Blurring is often used when forging images, in particular the "smart blur" filter, which affects the background and leaves the outlines clear. Known methods of blur detection treatment with this filter is difficult to detect, which encourages the search for a new solution. The aim of this work is to detect the processing of digital images by the filter "Smart Blur" by modifying the method based on the analysis of singular numbers of blocks of the matrix of the digital image. Research methods are based on the use of a general approach to the analysis of the state and technology of the information system. The method of detection of "reasonable" blur is developed, quantitative estimations of efficiency of a method in terms of errors of the first and second kind are received: errors of the 1st kind - 3%, 2nd kind - 1,5%. The method developed in this work can be used in the development of a comprehensive information security system to check digital images for the presence of their post-processing after possible falsification or in the detection of steganographic attack. A possible area of further research is to continue work on the analysis of the impact of other types of blurring of the digital image on the properties of its matrix to expand the scope of the modified method.

Keywords: digital image, falsification of digital image, smart blur, digital image matrix, singular values.