

**АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ ОБРОБКИ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ
ФІЛЬТРОМ «MOTION BLUR»****В.В. Зоріло, О.А. Карпова**

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: vikazorilo@gmail.com, kaaarpova@gmail.com

Цифрові зображення відіграють велику роль у житті сучасних людей, адже постійно використовуються у повсякденній діяльності, а також у засобах масової інформації, юриспруденції, політиці, мистецтві, медицині, науці. Простота та доступність програмного забезпечення для зміни цифрових зображень є однією з головних причин виникнення великої кількості фальсифікованих фото. Існуючі методи виявлення порушень цілісності цифрових зображень не є універсальними. Через це актуальним є пошук нових рішень цієї проблеми. Як показує практика та факти, відомі з відкритих джерел, розмиття є одним з програмних інструментів, який часто використовують для обробки цифрового зображення. Для розгляду у даній роботі обрано розмиття при відтворенні ефекту руху фільтром графічного редактора Adobe Photoshop «Motion blur». У відкритому друці не знайдено алгоритмів, які виявляють розмиття даного виду. Метою даної роботи є виявлення розмиття цифрового зображення фільтром «Motion blur» шляхом розробки алгоритму, заснованого на аналізі сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення. В роботі проведено огляд існуючих методів виявлення розмиття зображення; виявлено характерні особливості матриці цифрового зображення, які дозволять встановити наявність розмиття зазначеним фільтром. Розроблено алгоритм, який засновано на аналізі шести найменших сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення за червоним кольірним каналом. Кількість сингулярних чисел для перевірки та вибір кольорного каналу цифрового зображення обґрунтовано обчислювальним експериментом з використанням 600 зображень. Кількість помилок 1 роду розробленого алгоритму складає 1%, кількість помилок 2 роду – 2%. За допомогою розробленого алгоритму також за необхідності можна встановити кут розмиття з вірогідністю помилки 7,68%. Подальший напрямок досліджень націлено на вдосконалення виявлення обробки цифрового зображення різними фільтрами сучасних графічних редакторів.

Ключові слова: виявлення розмиття зображення, цифрове зображення, ефект руху, порушення цілісності, сингулярні числа, коефіцієнт швидкості росту.

Вступ

Безпека та автентичність – головні проблеми з початку використання цифрових зображень у багатьох сферах діяльності людини. Процес їхньої зміни став настільки популярним та простим, що користувачі без особливих зусиль можуть втручатися у зображення. Доступність та потужність програм для обробки цифрових зображень, таких як Adobe Photoshop чи GIMP, дає змогу змінювати цифрове зображення, не залишаючи помітних візуальних слідів. Через це треба володіти інструментами для виявлення порушень цілісності зображень, щоб мати змогу довести їх оригінальність.

Відомо багато способів зміни цифрового зображення, які є різними за своєю дією та складністю. Одним з популярних інструментів обробки є розмиття. Необхідно зауважити, що розмиття нерідко використовується в фотоіндустрії для акцентування уваги на деякому об'єкті за рахунок розмиття області навколо нього; надання об'єкту ефекту руху; усунення дефектів зображення, що можуть з'явитися під час сканування; усунення дефектів шкіри людини тощо. На жаль відомі сьогодні методи не дають можливості вирішити проблему виявлення програмного розмиття повністю.

Існують деякі види розмиття, які використовують для надання зображенню художнього ефекту, наприклад, для створення ефекту руху певного об'єкта на зображенні. Цього можна досягти за допомогою налаштувань фотокамери та прийомів фотографа, тобто, не використовуючи обробку зображення графічними редакторами, тоді таке зображення буде оригінальним. Також цей ефект можна підробити і у графічному редакторі, наприклад, фільтром «Motion blur» редактора Adobe Photoshop. Тоді такі дії можна вважати втручанням у цілісність початкового зображення.

Мета і задачі

Метою даної роботи є забезпечення виявлення розмиття цифрового зображення фільтром «Motion blur» шляхом розробки алгоритму, заснованого на аналізі сингулярних чисел блоків матриці цифрового зображення.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів виявлення розмиття зображення;
- виявити характерні особливості матриці цифрового зображення, які дозволять встановити наявність розмиття;
- розробити алгоритм виявлення розмиття цифрового зображення фільтром «Motion blur» та провести аналіз його ефективності.

Основна частина

Розроблений у [1] метод виявлення розмиття (МВР), який засновано на загальному підході до аналізу інформаційної системи [2], відрізняється від інших відомих методів виявлення розмиття [3, 4] своєю ефективністю, але має суттєві недоліки. Першим недоліком є різні порогові значення для знімків, отриманих непрофесійною та професійною фототехнікою, щоб мати змогу відокремити розмите зображення від нерозмитого. Другим недоліком є те, що цей метод було перевірено для малої кількості видів розмиття, хоча сучасні графічні редактори надають можливість виконувати розмиття зображення більш ніж десятьма різними способами.

Один з основних параметрів розмиття – радіус. Чим більший радіус, тим сильніше і помітніше розмиття. Розмиття з великим радіусом у більшості випадків викликає підозри до ЦЗ, що є небажаним, якщо метою цього розмиття було приховання результатів стеганографічної атаки чи фальсифікації. Проте для розмиття для передачі ефекту руху великий радіус розмиття не є таким неприродним та підозрілим. Наприклад, для передачі швидкого руху автівки є цілком логічним значне розмиття навколишніх об'єктів (рис. 1). У фільтрі «Motion blur» аналогом радіусу є параметр – довжина розмиття.



Рис. 1. Приклад застосування фільтру «Motion blur»

У зв'язку із вказаним вище, для проведення досліджень в якості мінімуму для довжини розмиття L було обрано значення у 50 пікселів. Для сучасних цифрових фотографій, які мають зазвичай досить великі розміри, ефект розмиття у 50 пікселів за допомогою фільтру «Motion blur» не є сильним при перегляді повного зображення. Другий параметр даного фільтру – кут розмиття. Даний параметр визначає, під яким кутом будуть «розтягнуті» об'єкти зображення.

Як відомо, розмиття зображення призводить до зменшення його високочастотної складової. Візуально результатом роботи даного інструменту обробки є згладжування контурів. Головну роль при аналізі стану й властивостей цифрового зображення грають сингулярні числа (СНЧ) матриці, що відповідають даному цифровому зображенню (ЦЗ). Із [1] відомо, що при застосуванні розмиття СНЧ зменшуються наступним чином: СНЧ, які відповідають високим частотам ЦЗ, тобто найменші, а також середні за значенням СНЧ будуть змінені найбільше, на відміну від швидкості росту найменших СНЧ нерозмитого зображення. Можна зробити припущення, що такий фільтр як «Motion blur» також буде зменшувати високочастотну та середньочастотну складову цифрового зображення. Перевіримо, чи можна модифікувати МВР чи адаптувати його порогове значення до виявлення зазначеного фільтру.

Для аналізу оригінальних ЦЗ будемо використовувати матриці усіх трьох кольорних каналів. Кожну матрицю розіб'ємо стандартним чином на блоки 8×8 та знайдемо множину СНЧ для кожного блоку. У результаті отримаємо матриці сингулярних чисел (МСНЧ) блоків ЦЗ. Будемо перевіряти від 3 до 6 найменших сингулярних чисел. Побудуємо для обраних СНЧ лінійні апроксимації по кожній кольорній матриці та визначимо похідні, значення яких являє собою коефіцієнти швидкості росту (КШР) обраних СНЧ згідно МВР. Після цього знайдемо середні та максимальні значення цих коефіцієнтів. Аналогічним чином проводимо аналіз розмитих ЦЗ за допомогою фільтру «Motion blur».

Проведемо аналіз середніх та максимальних значень КШР. Типові результати обчислення надано у таблицях 1-8.

Таблиця 1.

Середні значення КШР трьох найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,13	0,13	0,13	0,19	0,19	0,19	0,28	0,29	0,28
2	0,29	0,33	0,34	0,18	0,18	0,18	0,27	0,27	0,27
3	0,34	0,34	0,33	0,14	0,13	0,12	0,23	0,23	0,22
4	0,34	0,35	0,33	0,08	0,08	0,09	0,17	0,17	0,18

Таблиця 2.

Максимальні значення КШР трьох найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,34	0,34	0,33	0,24	0,24	0,23	0,34	0,34	0,37
2	0,38	0,37	0,39	0,21	0,20	0,2	0,31	0,3	0,30
3	0,38	0,37	0,37	0,18	0,17	0,17	0,27	0,3	0,26
4	0,39	0,38	0,37	0,13	0,14	0,14	0,24	0,24	0,24

Таблиця 3.

Середні значення КШР чотирьох найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,26	0,26	0,26
2	0,33	0,38	0,39	0,17	0,16	0,16	0,26	0,26	0,26
3	0,40	0,39	0,39	0,18	0,17	0,16	0,26	0,26	0,26
4	0,40	0,41	0,38	0,16	0,14	0,11	0,28	0,27	0,24

Таблиця 4.

Максимальні значення КШР чотирьох найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,39	0,38	0,39	0,23	0,23	0,23	0,31	0,30	0,30
2	0,44	0,42	0,43	0,22	0,22	0,22	0,30	0,30	0,31
3	0,44	0,43	0,44	0,25	0,23	0,23	0,32	0,30	0,31
4	0,44	0,44	0,42	0,20	0,18	0,16	0,30	0,30	0,29

Таблиця 5.

Середні значення КШР п'яти найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,19	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,31	0,31	0,30
2	0,41	0,47	0,48	0,20	0,20	0,19	0,30	0,30	0,30
3	0,50	0,48	0,48	0,21	0,20	0,19	0,30	0,30	0,30
4	0,51	0,50	0,48	0,19	0,18	0,15	0,33	0,32	0,28

Таблиця 6.

Максимальні значення КШР п'яти найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,47	0,47	0,47	0,24	0,24	0,23	0,36	0,35	0,35
2	0,56	0,53	0,53	0,23	0,23	0,24	0,35	0,34	0,35
3	0,56	0,55	0,55	0,25	0,24	0,24	0,37	0,36	0,35
4	0,57	0,55	0,53	0,23	0,21	0,20	0,37	0,35	0,34

Таблиця 7.

Середні значення КШР шести найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,24	0,24	0,24	0,21	0,22	0,21	0,98	0,98	0,95
2	0,53	0,60	0,62	0,22	0,23	0,22	0,63	0,64	0,64
3	0,65	0,63	0,62	0,23	0,23	0,22	0,33	0,33	0,33
4	0,69	0,65	0,62	0,23	0,22	0,19	0,44	0,47	0,46

Таблиця 8.

Максимальні значення КШР шести найменших СНЧ

№ ЦЗ	Оригінальні ЦЗ			Розмиті ЦЗ під кутом 0°			Розмиті ЦЗ під кутом 20°		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	0,61	0,61	0,61	0,26	0,26	0,25	1,33	1,35	1,30
2	0,74	0,70	0,69	0,25	0,25	0,25	0,97	0,99	0,99
3	0,75	0,71	0,71	0,25	0,25	0,26	0,36	0,36	0,37
4	0,76	0,72	0,69	0,25	0,24	0,23	0,64	0,67	0,66

Аналізуючи результати досліджень, було встановлено, що виділити певне порогове значення для відокремлення оригінальних ЦЗ від фальсифікованих неможливо. Помічено й те, що СНЧ змінюються по різному в залежності від кута розмиття, та найбільш «сильним» в плані зменшення значень СНЧ є розмиття під кутами 0° та 90° по множині $\{0^\circ; 10, \dots, 90^\circ\}$. У МВР в якості інструменту додаткової перевірки зображення використовувалося експертне розмиття – проведення експертом навмисного розмиття досліджуваного зображення для подальшого аналізу відмінностей отриманого та початкового ЦЗ. Доцільність даного інструменту обґрунтовано тим, що суттєво впливає на СНЧ тільки первинне розмиття. Повторне розмиття також зменшує СНЧ, проте порівняно з первинним ці зміни якісно відрізняються. Для перевірки, чи виконується це при обробці фільтром «Motion blur», протестовано 100 різних оригінальних ЦЗ. Для проведення експертного розмиття використано наступні параметри: довжина розмиття $L = 50$ пікселів та кут розмиття $\varphi \in \{0^\circ; 10, \dots, 90^\circ\}$. Кількісні зміни середніх значень коефіцієнтів швидкості росту СНЧ для одного зображень наведено у таблиці 9. Коефіцієнти у таблиці визначають, у скільки разів зменшується середня швидкість росту СНЧ після першого розмиття зображення.

Таблиця 9.

Зміна СНЧ при першому розмитті оригінального ЦЗ

Кут розмиття	Для трьох найменших СНЧ	Для чотирьох найменших СНЧ	Для п'яти найменших СНЧ	Для шести найменших СНЧ
0°	6,04053	4,45909	4,12397	4,06317
10°	5,07240	3,84393	3,57696	3,61012
20°	3,71371	3,11919	3,06719	3,18236
30°	3,11153	2,72332	2,78027	2,97580
40°	2,79765	2,57166	2,65954	2,88801
50°	2,76453	2,54792	2,65272	2,89159
60°	2,98194	2,60114	2,67007	2,91890
70°	3,45075	2,83305	2,83051	3,08270
80°	4,70739	3,42173	3,16499	3,33101
90°	6,50217	4,14563	3,61760	3,56480

В результаті перевірки зроблено висновок, що при розмитті під будь-яким кутом середні значення коефіцієнтів швидкості росту сингулярних чисел оригінального зображення зменшуються більш ніж у 2 рази.

У таблиці 10 наведено, у скільки разів при повторному розмитті під усіма кутами зменшуються середні значення коефіцієнтів швидкості росту СНЧ попередньо розмитого ЦЗ під кутом 0°.

Таблиця 10.

Результат перевірки зменшення СНЧ при повторному розмитті

Кут розмиття	Для трьох найменших СНЧ	Для чотирьох найменших СНЧ	Для п'яти найменших СНЧ	Для шести найменших СНЧ
0°	1,75200	1,41451	1,24876	1,18078
10°	1,75719	1,43252	1,27116	1,19764
20°	1,76199	1,43762	1,29177	1,21337
30°	1,76525	1,48178	1,33080	1,23575
40°	1,83247	1,54906	1,38377	1,26618
50°	1,84373	1,57676	1,41566	1,28615
60°	1,93130	1,61706	1,44255	1,29563
70°	2,04442	1,67395	1,45522	1,29821
80°	2,19569	1,74285	1,51545	1,33069
90°	2,38344	1,81017	1,53413	1,33157

Як можна побачити у таблиці 10, найменше змінилися СНЧ цифрового зображення після повторного розмиття під кутом 0°, а саме від 1,18 до 1,75 разів, що менше за 2. Аналогічних результатів досягнуто й при перевірці інших ЦЗ, які попередньо було розмито під іншими кутами.

Отже, для виявлення штучного ефекту руху необхідно розмити ЦЗ під тим кутом, який було використано при обробці. Для визначення кута будемо використовувати експертне розмиття під різними кутами (у роботі використано кути розмиття з множини {0°, 10, ..., 90°}). Далі знайдемо мінімум від ділення середнього значення коефіцієнту швидкості росту СНЧ цифрового зображення до та після експертного розмиття. Якщо це значення буде меншим за 2, то можна зробити висновок, що початкове ЦЗ було розмите до перевірки.

При дослідженні ефективності алгоритму виявлення розмиття у русі було проведено обчислювальний експеримент з використанням 600 цифрових зображень, що були отримані сучасними цифровими фотокамерами. Використовувались зображення як у форматі без втрат, так і з втратами, після розмиття усі ЦЗ було збережено у форматі без втрат. Оцінку ефективності розробленого алгоритму виконано у термінах помилок першого і другого роду, де пропуск небезпечної ситуації є помилкою першого роду, хибна тривога – помилка другого роду. На початковому етапі для досліджень обрано від трьох до шести найменших сингулярних чисел. Це зумовлено тим, що є необхідність у встановленні кількості найменших СНЧ, при роботі з якими алгоритм буде найефективнішим.

Перевірку було проведено для червоної колірної компоненти цифрових зображень. Результати підрахунку ефективності роботи алгоритму за обраних умов надано у таблиці 11.

Таблиця 11.

Ефективність роботи алгоритму за червоним колірним каналом для різної кількості найменших СНЧ

Кількість СНЧ	Помилки першого роду	Помилки другого роду
3	4%	14%
4	2.8%	9%
5	1.4%	6%
6	1%	2%

Як бачимо, найефективнішим є використання 6 найменших СНЧ, тому для подальших досліджень було використано саме таку кількість.

Далі усі ЦЗ було перевірено за трьома колірними компонентами та підраховано кількість помилок. У таблиці 12 надано результати проведеного дослідження.

Таблиця 12.

Ефективність роботи алгоритму для шести найменших СНЧ за різними колірними каналами

Колірний канал ЦЗ	Помилки першого роду	Помилки другого роду
R	1%	2%
G	1.2%	4%
B	1.4%	4%

Для кінцевого алгоритму було вирішено обрати лише одну колірну компоненту ЦЗ, адже перевірка за усіма каналами подовжить час роботи алгоритму та не поліпшить значення помилок першого та другого роду.

З таблиці 12 бачимо, що для виявлення розмиття у русі краще використовувати червоний колірний канал ЦЗ.

Також проведено експеримент на встановлення кута розмиття цифрового зображення. Результат оцінки помилки при встановленні кута розмиття для кожної колірної компоненти наведено у таблиці 13.

Таблиця 13.

Оцінка помилки встановлення кута розмиття

Колірний канал ЦЗ	Неправильне встановлення кута, %
R	7,68%
G	6,48%
B	6,9%

Аналізуючи значення таблиці 13, було зроблено висновок, що найефективнішим у визначенні кута розмиття алгоритм виявився при роботі із зеленим каналом ЦЗ. Для червоного каналу ЦЗ кількість неправильно встановлених кутів розмиття виявилася найбільшою. Проте пріоритетним все ж є встановлення самого факту розмиття.

Підсумовуючи усе, для кінцевого алгоритму було обрано шість найменших сингулярних чисел та червону колірну компоненту цифрового зображення. Кроки кінцевого алгоритму наведено нижче.

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

Крок 1. Виділити із матриці I підматрицю C довільного $k \times l$ -розміру за червоним колірним каналом.

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

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

де $[.]$ – ціла частина аргументу.

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

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

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

Крок 4. Для $\sigma_k, k = 3, \dots, 8$ блоків C_{ij} побудувати лінійну апроксимуючу функцію:

$$y = ax + b.$$

Крок 5. Побудувати матрицю швидкості росту W , елементи якої $W_{ij} = a$.

Крок 6. Побудувати вектори середніх значень VMV_c для W та знайти їхнє середнє значення $avgC$.

Крок 7. Провести експертні розмиття матриці C під кутами $angle$, які належать множині $\{0^\circ, 10^\circ, \dots, 90^\circ\}$. В результаті чого буде отримано 10 матриць.

Крок 8. Нехай $R_{angle}, angle \in \{0^\circ, 10^\circ, \dots, 90^\circ\}$ – матриці отримані на кроці 7. Виконати для цих матриць кроки 2-6, результатом чого будуть середні значення $avgR_{angle}$.

Крок 9. Знайти найменше значення відношення $avgC/avgR_{angle}$ та виконати порівняння:

$$\text{якщо } \min_{angle[0^\circ:90^\circ]} \frac{avgC}{avgR_{angle}} < 2, \text{ то зображення розмите;}$$

інакше – розмиття не виявлено.

Висновки

У даній статті проведено аналіз поведінки сингулярних чисел цифрового зображення при розмитті фільтром «Motion blur» у графічному редакторі Adobe Photoshop. В ході обчислювального експерименту встановлено, що при повторному розмитті ЦЗ швидкість росту сингулярних чисел його матриці зменшується менш ніж у 2 рази за умови того, що повторне розмиття проводиться під тим самим кутом, що і первинне. На основі проведених досліджень розроблено алгоритм виявлення розмиття зображення фільтром «Motion blur».

Аналіз ефективності алгоритму показав, що кількість помилок 1 роду складає 1%, кількість помилок 2 роду – 2%.

Предметом подальшого розвитку розробленого алгоритму є проведення робіт для вдосконалення точності відділення оригінальних зображень від фальсифікованих, а також розширення спектру досліджуваних кутів розмиття.

Список літератури

1. Зоріло В.В. Метод виявлення результатів розмиття цифрового зображення / В.В. Зоріло, А.А. Кобозева // Сучасна спеціальна техніка. – 2010. – №3(22). – С.72-82.
2. Кобозева, А.А. Матричний аналіз – основа общего подхода к обнаружению фальсификации цифрового сигнала / А.А. Кобозева, О.В. Рыбальский, Е.А. Трифонова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2008. – №8(126), Ч.1. – С. 62-72.
3. Кольцов, П.П. Оценка размытия изображения / П.П. Кольцов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т.35, №1. – С. 95–102.
4. 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. – Том 2, №4. – С. 297–303.

**АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
ФИЛЬТРОМ «MOTION BLUR»**

В.В. Зорило, А.А. Карпова

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

Цифровые изображения играют большую роль в жизни современных людей, ведь постоянно используются в повседневной деятельности, а также в средствах массовой информации, юриспруденции, политике, искусстве, медицине, науке. Простота и доступность программного обеспечения для изменения цифровых изображений является одной из главных причин возникновения большого количества фальсифицированных фото. Существующие методы выявления нарушений целостности цифровых изображений не являются универсальными. Поэтому поиск новых решений этой проблемы является актуальным. Как показывает практика и факты, известные из открытых источников, размытие является одним из программных инструментов, который часто используют для обработки цифрового изображения. Для рассмотрения в данной работе выбрано размытие при создании эффекта движения фильтром графического редактора Adobe Photoshop «Motion blur». В открытой печати не найдено алгоритмов, которые выявляют размытие данного вида. Целью данной работы является выявление размытия цифрового изображения фильтром «Motion blur» путём разработки алгоритма, основанного на анализе сингулярных чисел блоков матрицы цифрового изображения. В работе проведен обзор существующих методов обнаружения размытия изображения; выявлены характерные особенности матрицы цифрового изображения, которые позволят установить наличие размытия указанным фильтром. Разработан алгоритм, который основан на анализе шести наименьших сингулярных чисел блоков матрицы цифрового изображения по красному цветовому каналу. Количество сингулярных чисел для проверки и выбор цветового канала цифрового изображения обосновано вычислительным экспериментом с использованием 600 изображений. Количество ошибок 1 рода разработанного алгоритма составляет 1%, количество ошибок 2 рода - 2%. С помощью разработанного алгоритма также при необходимости можно установить угол размытия с вероятностью ошибки 7,68%. Дальнейшее направление исследований нацелено на совершенствование обнаружения обработки цифрового изображения различными фильтрами современных графических редакторов.

Ключевые слова: выявление размытия изображения, цифровое изображение, эффект движения, нарушение целостности, сингулярные числа, коэффициент скорости роста.

**ALGORITHM OF DETECTION OF DIGITAL IMAGE PROCESSING BY
MOTION BLUR FILTER**

V.V. Zorilo, A.A. Karpova

Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: vikazorilo@gmail.com,
kaaarpova@gmail.com

Digital images play a big role in the lives of modern people, because they are constantly used in daily activities, as well as in mass media, jurisprudence, politics, art, medicine, science. Simplicity and accessibility of software for changing digital images is one of the main reasons for the appearance of a large number of falsified photos. Existing methods for detecting violations of the integrity of digital images are not universal. Therefore, the search for new solutions to this problem is urgent. As practice and facts from open source sources show, blur is one of the software tools that are often used to handle a digital image. For consideration in this work blur was chosen when creating the motion effect by the filter of the Adobe Photoshop graphic editor "Motion blur". In an open print, no algorithms are found that will detect blurring of this kind. The purpose of this work is to detect the blurring of the digital image with the Motion Blur filter by developing an algorithm based on the analysis of the singular numbers of the blocks of the digital image matrix. A review of existing methods for detecting blurred images is presented in the work; characteristic features of a digital image matrix are revealed which will allow to establish the presence of blur with the specified filter. The algorithm is developed, which is based on the analysis of the six smallest singular numbers of blocks of the matrix of a digital image on a red color channel. The number of singular numbers for verification and the choice of the color channel of a digital image is based on a computational experiment using 600 images. The number of errors of the first kind of the developed algorithm is 1%, the number of errors of the 2nd kind - 2%. With the help of the developed algorithm, you can also set the blur angle with a probability of error of 7.68%, if necessary. The further direction of research is aimed at improving the detection of digital image processing by various filters of modern graphic editors.

Keywords: detection of image blur, digital image, motion effect, violation of integrity, singular numbers, coefficient of growth rate.