

## МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ ВІЯВЛЕННЯ ШТУЧНОГО ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

**В.В. Зоріло, О.І. Кіосєва, І.В. Зоріло**

Одеський національний політехнічний університет,  
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: jyzel@rambler.ru

Сучасні проблеми захисту інформації змінюються разом з розвитком інформаційних технологій. Рівень кіберзлочинності з кожним роком стає все вищим у всьому світі. Часто атакам кіберзлочинців піддаються цифрові файли різних форматів. Одна з основних задач сучасного захисту інформації – виявлення порушень цілісності цифрових сигналів, зокрема, цифрових зображень. Виявлення обробки цифрового зображення наразі є актуальною задачею через збільшення випадків порушення цілісності важливих документів. Цифрові зображення майже завжди оброблюють фільтрами графічних редакторів. Один з популярних фільтрів – підвищення різкості. У відкритому друці знайдено єдиний алгоритм виявлення штучного підвищення різкості. Існуючий алгоритм засновано на аналізі близьких пар кольорів цифрового зображення у відношенні до загальної кількості пар кольорів матриці цифрового зображення. Виявлено порогове значення, зважаючи на яке певне відношення цих показників свідчить про наявність чи відсутність підвищення різкості. Проте його основний недолік – велика кількість помилок першого та другого роду. У даній роботі досліджено вплив розбиття матриці зображення на квадратні блоки різного розміру на ефективність виявлення підвищення різкості. В якості фільтру різкості обрано інструмент графічного редактора Adobe Photoshop «Інтелектуальна різкість» через його широку популярність. На основі проведеного дослідження виконано модифікацію існуючого алгоритму. Дана модифікація дозволила зменшити кількість помилок 1 роду на 12 %, та 2 роду на 4 %, що в результаті складає 40 % помилок 2 роду та 14 % помилок 1 роду. Також в роботі запропоновано можливі подальші варіанти розвитку та вдосконалення процесу виявлення зазначеної обробки, а саме дослідження впливу модифікації формули близьких пар кольорів на ефективність алгоритму.

**Ключові слова:** виявлення підвищення різкості, цифрове зображення, порушення цілісності, захист інформації, близькі пари кольорів

### Вступ

Для приховання фальсифікації зображення нерідко використовують такі фільтри графічних редакторів, як різкість (чіткість) чи розмиття, тому якщо виявити їх наявність на зображенні, то можна зробити висновок, що фотографія не є оригінальною. На сьогоднішній день методів для виявлення штучного підвищення різкості зображення не так багато. Наразі розроблено метод виявлення підвищення різкості [1], який має свої переваги та недоліки. Оскільки метод, про який зазначено в роботі, не має аналогів за направленням дії, він є важливим кроком до вирішення проблеми виявлення даного виду обробки зображень. Проте його безперечним недоліком є велика кількість помилок першого та другого роду. Очевидною є необхідність проведення додаткових досліджень стосовно даного метода для підвищення його ефективності. Метод засновано на аналізі близьких пар кольорів у відношенні до загальної кількості пар кольорів матриць цифрового зображення (ЦЗ). Різниця між даними величинами наразі досить велика для виділення порогового значення, яке дозволяє розрізняти оброблене зображення від необробленого, проте

необхідно знайти шляхи збільшення різниці між цими величинами для зменшення кількості помилок в роботі метода.

*Мета* даної роботи: удосконалення метода виявлення штучного підвищення різкості - постобробки цифрового зображення, як результату порушення його цілісності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Визначення напрямку вдосконалення метода виявлення штучного підвищення різкості;
2. Аналіз отриманих результатів та модифікація методу.

## Матеріали та методи

Основні кроки метода виявлення штучного підвищення різкості в цифровому зображенні полягають в наступному. Червону, зелену і синю компоненти зображення ( $R$ ,  $G$ ,  $B$  відповідно в колірній схемі RGB) аналізували на предмет кількості близьких пар (БП) кольорів, де близькою вважають пару  $(R_1, G_1, B_1)$  і  $(R_2, G_2, B_2)$ , для якої виконується умова (1) [1, 2]:

$$\begin{cases} |R_1 - R_2| \leq 1 \\ |G_1 - G_2| \leq 1 \\ |B_1 - B_2| \leq 1 \end{cases} \Leftrightarrow (R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2 \leq 3. \quad (1)$$

Згідно [3] різниця між значенням яскравості пікселів має бути рівною двом для кожної колірної компоненти, проте вплив модифікації формули на ефективність алгоритму на даний момент не досліджено. Після отримання кількості близьких пар  $P$  для зображення знаходили коефіцієнт відношення кількості близьких пар кольорів до загальної кількості пар кольорів  $S$  за виразом:

$$K = \frac{P}{S}. \quad (2)$$

Якщо  $K \leq 0,21$ , то зображення вважають обробленим фільтром «Інтелектуальна різкість» (зображення у експерименті оброблювали засобами графічного редактору Adobe Photoshop з використанням фільтру «Інтелектуальна різкість»). Інакше різкість зображення не підвищено штучно даним фільтром.

Оцінка ефективності розробленого алгоритму робилася в термінах помилок першого і другого роду. Помилки першого роду – невірно відхилене застосування фільтру, помилками другого роду – помилково прийняте за оброблене цифрове зображення. Результати наведені в табл.1.

**Таблиця 1.**

Аналіз ефективності методу

	Помилки 1 роду	Помилки 2 роду
Оригінальне зображення, %	-	44
Обробка з радіусом 1 піксель, %	26,1	-
Обробка з радіусом 2 пікселі, %	18,3	-
Обробка з радіусом 3 пікселі, %	14,8	-

Як бачимо з табл.1, кількість помилок 1 і 2 роду велика для того, щоб вважати розроблений метод ефективним, проте з приводу підвищення ефективності даного метода пропонується надалі перед визначенням кількості близьких пар кольорів провести розбиття матриці зображення на непересічні блоки: при такому підході пікселі близької пари кольорів можуть знаходитися у різних блоках, що, можливо, призведе до зменшення чисельника формули (2).

Проведемо експеримент, в ході якого встановимо вплив розбиття зображення на блоки на ефективність зазначеного алгоритму. Візьмемо блоки розміром  $16 \times 16$  та  $8 \times 8$  пікселів. Блоки більших розмірів брати немає сенсу. Адже очікуваний ефект, очевидно, буде тим виразніший, чим більша кількість блоків у зображенні. Нехай  $P_1$  – число близьких пар кольорів в зображенні, розбитому на блоки  $16 \times 16$ , а  $P_2$  – число близьких пар кольорів в зображенні, розбитому на блоки  $8 \times 8$ . Для експерименту використовували 400 цифрових зображень у форматі jpg (формат зображення не є принциповим, як показано в роботі [4]) з власного архіву. Кожне зображення засобами графічного редактора Adobe Photoshop обробляли фільтром «Інтелектуальна різкість» з радіусом 1 піксель (найважча для виявлення ситуація) та зберігали у форматі jpg з мінімальними втратами. Результати експерименту подано в таблиці 2.

Таблиця 2.

## Результати експерименту

№ ЦЗ	Ширина в пікс.	Висота в пікс.	Всього пар кольорів	Кількість близьких пар кольорів до обробки Блок $16 \times 16$	Кількість близьких пар кольорів після обробки Блок $16 \times 16$	Кількість близьких пар кольорів до обробки Блок $8 \times 8$	Кількість близьких пар кольорів після обробки Блок $8 \times 8$
1	1632	2449	3996768	859647	322250	801882	308447
2	2848	4272	12166656	6591427	557937	6267869	538424
3	2848	4272	12166656	4325440	2031810	4127697	1962667
4	2848	4272	12166656	3887245	2167398	3703211	2093525
5	2848	4272	12166656	4545607	2361522	4324080	2277800

## Результати та обговорення

**Визначення близьких пар кольорів:** близькою парою кольорів будемо вважати такі два кольори  $(R_1, G_1, B_1)$  і  $(R_2, G_2, B_2)$ , які належать послідовно розміщеним вертикально чи горизонтально пікселям і для яких виконується умова (1).

Розглянемо отримані під час експерименту показники близьких пар кольорів відносно загальної кількості пар кольорів, яку визначимо наступним чином. Нехай  $F$  –  $n \times m$  – матриця ЦЗ, та  $F'$  –  $l \times l$  – блок матриці ЦЗ. Кількість таких непересічних блоків ЦЗ дорівнює наступному добутку:  $\left[ \frac{n}{l} \right] \times \left[ \frac{m}{l} \right]$ , де  $[ \bullet ]$  – ціла частина аргументу.

Кількість пар кольорів в одному блоці за вертикальним напрямком дорівнює добутку

$(l-1) \times l$ . Аналогічно знайдемо кількість пар кольорів і за горизонтальними напрямком. Тож загальна кількість пар кольорів у  $l \times l$ -блоці дорівнює  $2(l-1) \times l$ . Для визначення загальної кількості пар кольорів у зображенні помножимо загальну кількість пар кольорів у блоці на кількість блоків. Отримаємо вираз:

$$S = \frac{2 \cdot (l-1) \cdot l \cdot m \cdot n}{l^2}.$$

Тож якщо блок має розміри  $16 \times 16$ , то формула визначення загальної кількості пар кольорів  $S_1$  ЦЗ з даним розбиттям на блоки матиме вигляд:

$$S_1 = \frac{15 \cdot m \cdot n}{8}.$$

Аналогічно при розбитті на блоки розміром  $8 \times 8$  формула загальної кількості пар кольорів  $S_2$  ЦЗ матиме вигляд:

$$S_2 = \frac{7 \cdot m \cdot n}{4}. \quad (3)$$

Введемо також коефіцієнти відношення ( $K_1, K_2$ ) кількості близьких пар кольорів ( $P_1, P_2$ ) до загальної кількості пар кольорів ( $S_1, S_2$ ):

$$K_1 = \frac{P_1}{S_1},$$

$$K_2 = \frac{P_2}{S_2}. \quad (4)$$

Частину результатів розрахунків наведено в таблиці 3 та таблиці 4 для оригіналів та оброблених зображень.

**Таблиця 3.**

Результати експерименту при розбитті на блоки  $16 \times 16$

№ ЦЗ	Ширина в пікс.	Висота в пікс.	Всього пар кольорів	Кількість близьких пар кольорів до обробки	Відношення БП кольорів до S до обробки ( $K_b$ )	Кількість близьких пар кольорів після обробки	Відношення БП кольорів до S після обробки ( $K_a$ )
1	2848	4272	12166656	4725521	0,2071	2731947	0,1198
2	2848	4272	12166656	3294932	0,1444	1389265	0,0609
3	2848	4272	12166656	4638895	0,2033	2375561	0,1041
4	2848	4272	12166656	4065284	0,1782	2146094	0,0941
5	2848	4272	12166656	4356108	0,1910	2235323	0,0980

Таблиця 4.

Результати експерименту при розбитті на блоки  $8 \times 8$ 

№ ЦЗ	Ширина в пікс.	Висота в пікс.	Всього пар кольорів	Кількість БП кольорів до обробки	Відношення БП кольорів до $S$ до обробки ( $K_b$ )	Кількість БП кольорів після обробки	Відношення БП кольорів до $S$ після обробки ( $K_a$ )
1	2848	4272	12166656	4493249	0,21103	2635619	0,12379
2	2848	4272	12166656	3135880	0,14728	1333090	0,06261
3	2848	4272	12166656	4391346	0,20625	2265831	0,10642
4	2848	4272	12166656	3838588	0,18029	2047932	0,09618
5	2848	4272	12166656	4120977	0,19355	2137137	0,10037

Знайдемо середній коефіцієнт відношення близьких пар кольорів до загальної кількості пар до обробки з розбиттям на блоки  $16 \times 16$ , після обробки з розбиттям на блоки  $16 \times 16$ , до обробки з розбиттям на блоки  $8 \times 8$ , після обробки з розбиттям на блоки  $8 \times 8$ . Результати наведено у таблиці 5.

Таблиця 5.

Середні коефіцієнти  $K$  відповідно до розміру блоку

Відношення БП кольорів до $S$ до обробки ( $K_b$ ) з розбиттям $16 \times 16$	Відношення БП кольорів до $S_1$ після обробки ( $K_a$ ) з розбиттям $16 \times 16$	Відношення БП кольорів до $S$ до обробки ( $K_b$ ) з розбиттям $8 \times 8$	Відношення БП кольорів до $S_2$ після обробки ( $K_a$ ) з розбиттям $8 \times 8$
0,173198	0,093327	0,176133	0,095844

В результаті експерименту встановлено, що при значенні коефіцієнту 0,157 досягаємо найкращий баланс між помилками 1 та 2 роду при розбитті на блоки  $16 \times 16$  та при значенні 0,16 при розбитті на блоки  $8 \times 8$ . Проведемо аналіз ефективності даної модифікації, результати якого наведемо в таблиці 6.

Таблиці 6.

Аналіз ефективності модифікованого алгоритму

	Оригінальне зображення з розбиттям на блоки $16 \times 16$ , %	Оброблене зображення з розбиттям на блоки $16 \times 16$ , %	Оригінальне зображення з розбиттям на блоки $8 \times 8$ , %	Оброблене зображення з розбиттям на блоки $8 \times 8$ , %
Помилки 1 роду	–	14,55	–	14,55
Помилки 2 роду	40,45	–	40,45	–

Як бачимо з даної таблиці, кількість помилок 1 і 2 роду однакова незалежно від розміру блоку при зазначених порогових значеннях. Отже розмір блоку не впливає суттєво на ефективність алгоритму. Оскільки розбиття на блоки  $8 \times 8$  є стандартним для різних алгоритмів, наприклад, для алгоритму JPEG, тому в нашому алгоритмі теж

будемо використовувати таке розбиття (що не є принциповим для вирішення поставлених в роботі задач). В порівнянні з оригінальним алгоритмом кількість помилок 1 роду зменшилось на 12 %, 2 роду – 4 %.

На основі даного аналізу пропонуємо наступний алгоритм виявлення штучного підвищення різкості як постобробки цифрового зображення.

Нехай  $A$  – аналізоване кольорове цифрове зображення, де  $R$ ,  $G$ ,  $B$  –  $m \times n$  – матриці червоної, зеленої і синьої компонент зображення відповідно.

**Крок 1.** Розбити матриці  $R$ ,  $G$ ,  $B$  зображення стандартним чином на непересічні блоки розміром  $8 \times 8$ .

**Крок 2.** Для зображення поблоково знайти кількість близьких пар кольорів  $P$  за виразом (1) та загальну кількість пар кольорів за виразом (3).

**Крок 3.** Знайти коефіцієнт відношення кількості близьких пар кольорів до загальної кількості пар кольорів  $K$  за виразом (4).

**Крок 4.** Висновки.

Якщо

$$K \leq 0,16,$$

то

зображення вважаємо обробленим фільтром «Інтелектуальна різкість»,

інакше

зображення не оброблено фільтром «Інтелектуальна різкість».

## Висновки

У даній статті розглянуто питання поведінки близьких пар кольорів зображення в ситуації, коли зображення оброблено засобами графічного редактора Adobe Photoshop, а саме фільтром «Інтелектуальна різкість». В ході досліджень проведено аналіз ефективності модифікованого алгоритму виявлення підвищення різкості, що дозволило в порівнянні з оригінальним алгоритмом зменшити кількість помилок 1 роду на 12 %, 2 роду на 4 %.

Предметом наступного дослідження є вплив модифікації формули близьких пар кольорів на ефективність алгоритму виявлення штучного підвищення різкості цифрового зображення.

## Список літератури

1. Узун, И.А. Стеганоанализ цифровых изображений, хранящихся в произвольных форматах / И.А. Узун // Информатика и математические методы в моделировании. — 2013. — Т. 3, (№ 2). — С.179-189.
2. Johnson, N.F. Exploring Steganography: Seeing the Unseen / N.F. Johnson, S.Jajodia // IEEE Computer. — 1998. — Vol. 31, No. 2. — Pp. 26-34.
3. Рудницкий, В.Н. Стеганоаналитический алгоритм для изображений, подвергавшихся операции сжатия с потерями / В.Н. Рудницкий, И.А. Узун // Захист інформації. — 2013. — Т. 15, № 2. — С. 122-127.
4. Зорило, В.В. Влияние повышения резкости на математические параметры цифрового изображения / В.В. Зорило, Е.Ю. Лебедева, А.И. Матвеева, А.А. Ефименко, В.А. Мокрицкий // Сучасна спеціальна техніка. — 2017. — № 2. — С. 67-73.

## МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫЯВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ РЕЗКОСТИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.В. Зоріло, О.І. Кіосева, І.В. Зоріло

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

Современные проблемы защиты информации меняются вместе с развитием информационных технологий. Уровень киберпреступности с каждым годом становится все выше во всем мире. Часто атакам киберпреступников подвергаются цифровые файлы различных форматов. Одна из основных задач современной защиты информации – выявление нарушений целостности цифровых сигналов, в частности, цифровых изображений. Выявление обработки цифрового изображения в настоящее время является актуальной задачей из-за увеличения случаев нарушения целостности важных документов. Цифровые изображения почти всегда обрабатывают фильтрами графических редакторов. Один из популярных фильтров – повышение резкости. В открытой печати найден единственный алгоритм выявления искусственного повышения резкости. Существующий алгоритм основан на анализе близких пар цветов цифрового изображения в отношении к общему количеству пар цветов матрицы цифрового изображения. Выявлено пороговое значение, учитывая которое определенное отношение этих показателей свидетельствует о наличии или отсутствии повышения резкости. Однако его основной недостаток – большое количество ошибок первого и второго рода. В данной работе исследовано влияние разбиения матрицы изображения на квадратные блоки разного размера на эффективность обнаружения повышения резкости. В качестве фильтра резкости выбран инструмент графического редактора Adobe Photoshop «Интеллектуальная резкость» из-за его широкой популярности. На основе проведенного исследования выполнена модификация алгоритма. Данная модификация позволила уменьшить количество ошибок 1 рода на 12 % и 2 рода на 4 %, что в результате составляет 40% ошибок 2 рода и 14 % ошибок 1 рода. Также в работе предложены возможные дальнейшие варианты развития и совершенствования процесса выявления указанной обработки, а именно исследование влияния модификации формулы близких пар цветов на эффективность алгоритма.

**Ключевые слова:** выявление резкости, цифровое изображение, нарушения целостности, защита информации, близкие пары цветов

**MODIFICATION OF ALGORITHM FOR DETECTING ARTIFICIAL IMPROVEMENT OF SHARPNESS OF THE DIGITAL IMAGE**

V.V. Zorilo, O.I. Kioseva, I.V. Zorilo

Odesa National Polytechnic University,  
1, Shevchenko Str., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: jyzel@rambler.ru

Modern information protection issues are changing with the development of information technology. Every year, the level of cybercrime is getting higher everywhere. Often cybercriminals are exposed to digital files of various formats. One of the main tasks of modern information security is the detection of violations of the integrity of digital signals, in particular, digital imaging. Detection of digital image processing is currently a topical task due to the increased incidence of integrity of important documents. Digital images are almost always processed by the filters of graphic editors. One of the popular filters is the sharpening. In the open edition, a single algorithm for detecting artificial sharpening was found. The existing algorithm is based on the analysis of close pairs of colors of a digital image in relation to the total number of pairs of colors of the matrix of a digital image. Threshold value is detected, considering what certain ratio of these indicators indicates presence or absence of sharpening. However, his main disadvantage is a large number of errors of the first and second kind. In this paper, the influence of the partition of the image matrix on square blocks of different sizes on the effectiveness of detecting sharpening is investigated. As a sharpening filter, Adobe Photoshop's Intelligent Sharpness tool is chosen because of its wide-ranging popularity. On the basis of the conducted research modification of the algorithm was performed. This modification made it possible to reduce the number of errors of the 1st kind by 12 %, and the 2 genera by 4%, which results in 40 % of errors of the second kind and 14 % of errors of the 1st genus. Also, possible further variants of development and improvement of the process of detection of the indicated processing, namely, the study of the influence of the modification of the formula of close pairs of colors on the efficiency of the algorithm, are proposed in the work.

**Keywords:** sharpening, digital image, integrity violation, information protection, close pairs of colors