

ВИКОРИСТАННЯ МЕТРИК ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ СТЕГАНОГРАМ, СТВОРЕНИХ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНИХ МЕТОДІВ ПРИХОВУВАННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ

В. О. Голубничий¹, Д. О. Прогонов¹, С. М. Куц¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

В роботі досліджено зміни метрик якості цифрових зображень (МЯ ЦЗ) при вбудовуванні повідомлень з використанням одноетапних стеганографічних методів. Розглянуті випадки формування стеганограм методами Дея і Елайна. Визначені кластери метрик якості зображень, які можуть бути використані при розробці універсальних стегодетекторів.

Ключові слова: стеганографія, пасивний стегоаналіз, метрики якості зображення.

Вступ

Актуальною та важливою задачею стегоаналізу є пошук нових підходів до аналізу інформаційних потоків, що дозволять виявити стеганограми в умовах обмеженості або відсутності апріорних даних щодо алгоритму вбудовування даних.

В якості контейнерів для вбудовування секретного повідомлення (СП) найчастіше використовують цифрові зображення (ЦЗ) [1]. В залежності від області вбудовування СП існуючі методи стеганографії ЦЗ можна поділити на дві групи – приховування в просторовій області (LSB-методи) та області перетворення контейнера (ОПК). Для виявлення стеганограм, що були створені з застосуванням LSB-методів, були запропоновані ефективні методи статистичного стегоаналізу [2, 3]. Різноманітність методів обробки зображення-контейнера (ЗК), що використовуються при вбудовуванні стегоданих в ОПК, значно ускладнює виявлення сформованих стеганограм при застосуванні стандартних методів пасивного стегоаналізу (наприклад, χ^2 -квадрат тесту). Для ускладнення проведення пасивного стегоаналізу також можуть використовуватися комплексні стеганографічні методи (КСМ), які засновані на використанні додаткових етапів обробки СП перед вбудовуванням в ЦЗ. Тому актуальною та важливою задачею є пошук універсальних методів пасивного стегоаналізу, які дозволять виявляти стеганограми незалежно від області вбудовування попередньо оброблених стегоданих.

Раніше авторами було показано, що застосування МЯ ЦЗ дозволяє розпізнавати стеганограми з даними, вбудованими як в частотній області, так і при використанні спеціальних методів обробки ЦЗ (сингулярне розкладання) [4, 5]. Подальший інтерес становить аналіз ефективності використання МЯ ЦЗ в найбільш складних випадках пасивного стего-

аналізу – формуванні стеганограм з використанням КСМ.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз змін МЯ ЦЗ стеганограм сформованих згідно одноетапних та комплексних методів приховування повідомлень.

1. Метрики якості цифрового зображення

Метрики якості цифрового зображення – це показники, що використовуються для оцінки спотворень ЦЗ, які виникають в результаті обробки або передачі зображення через канал зв'язку з завадами [6]. В залежності від типу спотворень ЦЗ, які характеризує метрика, МЯ можна поділити на 4 групи [4]:

- 1) Просторових спотворень: Maximum Difference (MD), Mean-Squared Error (MSE), Image Fidelity (IF), Laplacian Mean-Squared Error (LMSE);
- 2) Кореляційних характеристик: Normalized Cross-Correlation (NCC), Czenakowski Distance (CD), Mean Angular Difference (MAD), Normalized Absolute Difference (NAD);
- 3) Візуальної оцінки якості: Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Histogram Similarity (HS), Structure Similarity (SSIM), Cstructural Content (SC);
- 4) Спектральних спотворень: Weighted Spectral Distortion Magnitude (WSDM), Weighted Spectral Distortion Angle (WSDA).

2. Опис методів вбудовування

Метод Дея. Даний метод вбудовування стегоданих в ЦЗ базується на додаванні коефіцієнтів розкладу, одержаних при двовимірному дискретному вейвлет-перетворенні (ДДВП) окремих каналів колюру зображення-контейнеру C_1 , та стегоданих C_2 ,

представлених у вигляді ЦЗ, з ваговим коефіцієнтом G [7]:

$$S = (1 - G) \times C_1 + G \times C_2, \quad (1)$$

де S – коефіцієнт розкладу стеганограми. Для формування стеганограми в просторовій області, до отриманих коефіцієнтів застосовується зворотне ДДВП. Значення вагового коефіцієнту G змінювалися від $G_{min} = 0.02$ (нижня границя відновлення стегоданих) до $G_{max} = 0.08$ (поява візуальних спотворень ЗК) з кроком $\Delta_G = 0.02$.

Метод Елайна. На першому етапі формування стеганограм до приховуваних повідомлень, представлених у вигляді ЦЗ в градаціях сірого кольору, застосовується перетворення Арнольда (ПА):

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \text{ mod}(N)$$

де $(x, y), (x', y')$ – відповідно, координати пікселя у вихідному зображенні та отримані після ПА.

На другому етапі формування стеганограм проводиться перетворення системи кольорів ЗК з RGB на YCbCr [8]:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1145 \\ -0.16874 & -0.33126 & 0.5 \\ 0.5 & -0.41896 & -0.8131 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Вбудовування оброблених стегоданих, як і в методі Дея, здійснюється шляхом вагового додавання коефіцієнтів ДДВП ЗК (Y-канал яскравості) та стегоданих згідно (1). Значення вагового коефіцієнту G для даного випадку вибрані в інтервалі від $G_{min} = 1$ до $G_{max} = 12$ з кроком $\Delta_G = 4$.

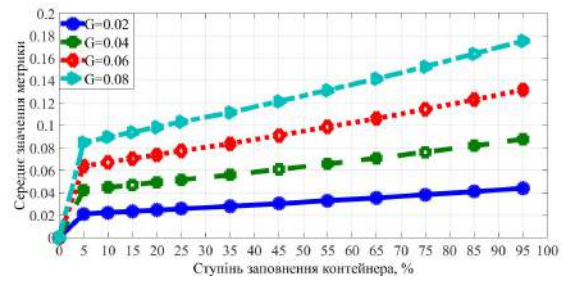
3. Результати дослідження

Дослідження проводилися з використанням тестового пакету, що складався зі ста UHD-4К ЦЗ. В якості стегоданих були використані три повнокольорові ЦЗ. Параметри використаних тестових зображень та стегоданих приведено в табл. 1.

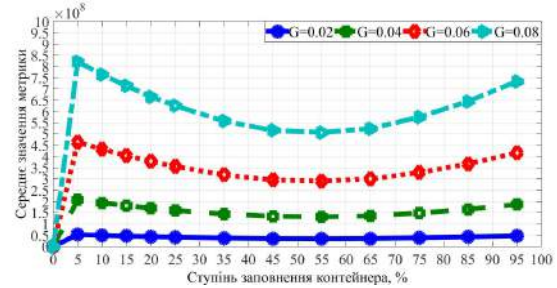
Ступінь заповнення контейнера (відношення кількості змінених коефіцієнтів ДДВП до загальної кількості коефіцієнтів ДДВП ЗК) змінювався від 5% до 25%, з кроком 5%, та від 25% до 95% з кроком 10%.

В ході роботи були проведені розрахунки параметрів всіх метрик та визначено групи МЯ, суттєві зміни значень яких дозволяють робити висновки щодо наявності прихованих повідомлень в ЦЗ. Залежності параметрів метрик, значення котрих найбільше змінюються при формуванні стеганограм згідно методам Дея та Елайна приведені на рис. 1-2:

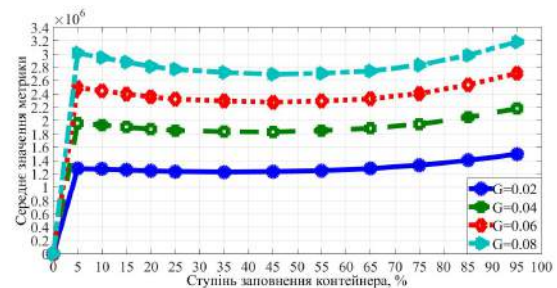
При приховуванні повідомлень в ЦЗ згідно методам Дея та Елайна спостерігається явно виражений пороговий ефект вже при слабкому ступені заповнення контейнера стегоданими (від 5%). Подальше



(а)



(б)



(в)

Рис. 1. Значення метрики для стеганограм, сформованих згідно методу Дея: (а) – метрика NAD; (б) – метрика WSDM; (в) – метрика HS.

зростання ступеня заповнення призводить до суттєвого зменшення змін значень МЯ ЦЗ (рис. 1(а)-2(а)), що свідчить про рівномірну зміну характеристик шумових компонент зображення-контейнеру при вбудовуванні стегоданих. Також виявлено, що залежність змін окремих МЯ (WSDM та HS) від ступеня заповнення контейнера стегоданими має нелінійний характер (рис. 1(б)-1(с),2(б)-2(с)), що спрощує виявлення прихованих повідомлень при використанні даних метрик.

Висновки

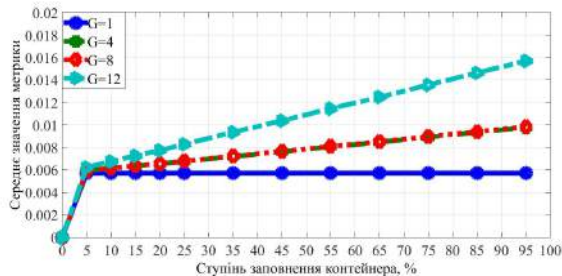
За результатами аналізу отриманих результатів встановлено, що при пасивному аналізі стеганограм у випадках коли вбудовування стегоданих методом Дея ефективним є використання метрик: NAD, LMSE, MAD, WSDM, HS, CD, а методом Елайна метрик: NAD, MSE, WSDM, HS.

Перелік використаних джерел

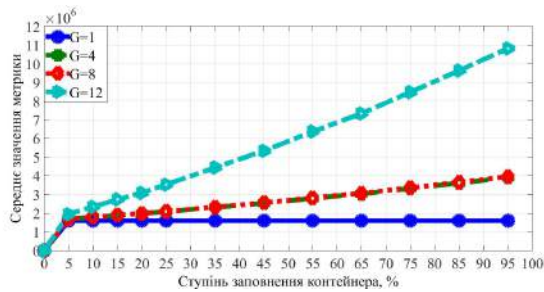
1. Конахович Г. Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузыренко. — К.: «МК-Пресс», — 2006. — 288 с.

Табл. 1. Параметри використаних текстових зображень та стегоданих

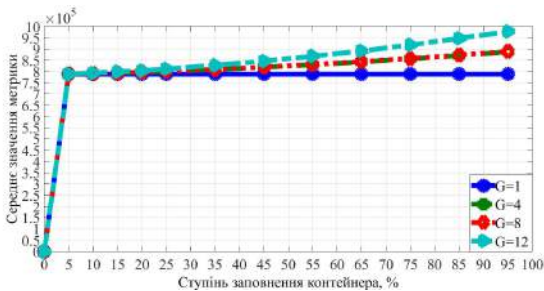
	Формат	Розмір, пікселів	Система кольорів	Глибина кольору, біт/піксель
Контейнер	JPEG	3280×2160	RGB	24
Креслення	BMP	567×436		
Карта		800×800		
Портрет		565×850		



(a)



(b)



(c)

Рис. 2. Значення метрики для стегограм, сформованих згідно методу Елайона: (a) – метрика NAD; (b) – метрика WSDM; (c) – метрика HS.

2. Holub V. Phase-Aware Projection Model for Steganalysis of JPEG Images \V. Holub and J. Fridrich

\Proc. SPIE, Electronic Imaging, Media Watermarking, Security, and Forensics XVII. vol. 9409, San Francisco, CA. – February 8–12, 2015.

3. Goljan M. CFA-aware Features for Steganalysis of Color Images \M. Goljan and J. Fridrich \Proc. SPIE, Electronic Imaging, Media Watermarking, Security, and Forensics XVII. – to appear, San Francisco, CA. – February 8–12, 2015.

4. Голубничий В. О. Демаскуючі ознаки вбудованих стегоданих \Голубничий В.О., Прогонов Д.О., Куц С.М. \Матеріали XII Всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Теоретичні та прикладні проблеми фізики, математики та інформатики”. – К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, – 2014. – с. 172–174

5. Голубничий В. О. Виявлення демаскуючих ознак стегограм, сформованих на основі сингулярного розкладу матриць цифрових зображень \Голубничий В.О., Прогонов Д.О., Куц С.М. \Матеріали міжнародної наук.-техн. конференції “Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи”. – К.: ВПІ ВПК “Політехніка”, – 2015. – с. 259–261

6. Avcibas I. A Statistical evaluation of image quality measures \Ismail Avcibas, Bulent Sankur, Khalid Sayood. \Journal of Electronic Imaging. – Volume 11, Issue 2. – April 2002. – p. 206–223

7. Dey N. A Novel Approach of Color Image Hiding using RGB Color planes and DWT \Nilanjay Dey, Anamitra Bardhan Roy, Sayantan Dey. \International Journal of Computer Applications. – Vol. 36, Issue 5. – December 2011. – p. 19–24

8. Elahian A. Improved Robust DWT-Watermarking in YCbCr Color Space \Atefeh Elahian, Medhi Khalili, Shahriar Baradaran Shokouhi. \Global journal of Computer Application and Technology. – Volume 1, Issue 3. – 2011. – p. 300–304