

# ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ СТЕГANOГРАМ

К. В. Черепахова<sup>1</sup>, Д. О. Прогонов<sup>1</sup>, С. М. Куц<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## Анотація

В роботі досліджено ефективність деструкції стегоданих, що приховані в цифровому зображенні на основі LSB-методів, після вейвлет-аналізу стегограм. Розглянуто випадки проведення вейвлет-стиснення та вейвлет-шумоподавлення стегограм. В результаті отримано, що використання вейвлет-стиснення для деструкції стегоданих більш ефективно в порівнянні з вейвлет-шумоподавленням.

*Ключові слова:* метод Куттера-Джордона-Боссена, вейвлети, активний стегоаналіз

## Вступ

Розвиток комунікаційних мереж створює нові можливості для створення прихованих каналів обміну повідомленнями між порушниками. Одним з найбільш розповсюджених методів приховування стегоданих в мультимедійні файли, а саме у цифрові зображення (ЦЗ), сьогодні є LSB-методи, оскільки дані методи характеризуються порівняно невисокими вимогами до параметрів контейнера і дозволяють проводити приховання стегоданих в режимі реального часу [1, 2].

Виявлення стегограм здійснюється з використанням методів пасивного стегоаналізу, а для деструкції прихованих повідомлень застосовуються алгоритми активного стегоаналізу. На сьогоднішній день було запропоновано багато методів як виявлення, так і деструкції повідомлень, прихованих згідно LSB-методів [4].

Перспективним для виділення деталей стегограм та подальшої очистки стегограм від шумів, в яких приховані стегодані є застосування вейвлет-аналізу. В роботі [5] виявлено, що використання вейвлет-стиснення є ефективним методом деструкції стегоданих при малому ступені заповнення контейнера (менше 20%). Тому актуальним є продовження дослідження ефективності деструкції стегоданих після проведення вейвлет-стиснення, а також після вейвлет-шумоподавлення стегограм.

Метою роботи є дослідження ефективності деструкції стегоданих з використанням методів вейвлет-аналізу зображень як для стиснення, так і фільтрації ЦЗ від шумів.

## 1. Метод Куттера-Джордона-Боссена

Одним з найбільш поширених LSB методів є метод Куттера-Джордона-Боссена (МКДБ). Згідно даного методу, стегодані вбудовуються у синій канал кольору цифрового зображення, що представлено в системі кольорів RGB [1, 2, 4].

$i$ -Тий біт повідомлення приховується у псевдовипадково обраному пікселі ЦЗ, що представлено в

системі кольорів RGB, шляхом модифікації яскравості обраного пікселю  $B_{x,y}$  в каналі синього кольору  $B_{x,y}$  [2, 4]:

$$\lambda_{x,y} = 0,989 \times R_{x,y} + 0,5866 \times G_{x,y} + 0,1145 \times B_{x,y},$$

$$\hat{B}_{x,y} = \begin{cases} B_{x,y} - \nu \lambda_{x,y}, & m_i = 0, \\ B_{x,y} + \nu \lambda_{x,y}, & m_i = 1, \end{cases}$$

де  $R_{x,y}, G_{x,y}$  – значення яскравості пікселя у каналі червоного та зеленого кольору, відповідно;  $m_i$  –  $i$ -ий біт прихованого повідомлення;  $\nu$  – константа, що визначає енергію біту, що вбудовується;  $B_{x,y}, \hat{B}_{x,y}$  – початкове та модифіковане значення яскравості псевдовипадково обраного пікселя в каналі синього кольору.

Екстракція стегоданих на приймальній стороні стегосистеми проводиться за відсутності початкового зображення (сліпий стегодетектор), тому для оцінки вихідних значень яскравості пікселів, використаних при прихованні стегоданих, застосовується прогнозування їх значень на основі значень сусідніх пікселів (у випадку “хрест” пікселів розміром  $7 \times 7$  кількість пікселів зверху/знизу/ліворуч/праворуч відносно центрального пікселя рівна  $\sigma=3$ ) [2].

## 2. Вейвлет перетворення

Вейвлет (англ. wavelet – маленька хвиля) – це функції, що породжують базиси простору, які широко використовуються для обробки сигналів [6].

Вейвлет перетворення (ВП) описує багатоетапний процес розкладу сигналу на набір базисних вейвлет функцій.

Застосування дискретного вейвлет перетворення (ДВП, Discrete Wavelet Transform – DWT) для 2D-зображення відповідає обробці зображення 2D низькочастотними та високочастотними фільтрами різних розмірів [7].

Вейвлет-коефіцієнти сигналу  $s(x, y)$  обчислюються згідно прямого двомірного ВП [8]:

$$cA_1 = 2^j \int_{R^2} s(x, y) (\varphi(2^j x - k) \varphi(2^j y - n)) dx dy,$$

$$cH_1 = 2^j \int_{R^2} s(x, y) (\varphi(2^j x - k) \psi(2^j y - n)) dx dy,$$

$$cV_1 = 2^j \int_{R^2} s(x, y) (\psi(2^j x - k) \varphi(2^j y - n)) dx dy,$$

$$cD_1 = 2^j \int_{R^2} s(x, y) (\psi(2^j x - k) \psi(2^j y - n)) dx dy,$$

де  $cA_j$  – апроксимуючий коефіцієнт;  $cH_j, cD_j, cV_j$  – горизонтальний, вертикальний та діагональний деталізуючі коефіцієнти;  $\varphi(x)$  – материнський вейвлет;  $\psi(x)$  – масштабуюча функція для заданого маєринського вейвлета (скейлінг-функція).

Обернене ВП з  $j$ -ого рівня розкладу сигналу  $s(x, y)$  визначається наступним чином [8]:

$$\begin{aligned} s(x, y) = & \sum_{k,n} cA_j (\varphi(2^j x - k) \varphi(2^j y - n)) + \\ & + \sum_{j,k,n} cH_j (\varphi(2^j x - k) \psi(2^j y - n)) + \\ & + \sum_{j,k,n} cV_j (\psi(2^j x - k) \varphi(2^j y - n)) + \\ & + \sum_{j,k,n} cD_j (\psi(2^j x - k) \psi(2^j y - n)). \end{aligned}$$

Зображення поділяється на чотири піддіапазони, що не перекриваються, за допомогою фільтрів, а саме  $(LL_1), (LH_1), (HL_1), (HH_1)$ . Піддіапазон  $(LL_1)$  обробляється першим. Аналогічно, потім обробляється піддіапазон  $(LL_2)$  і так далі, поки не буде отримано необхідний рівень розкладу  $N$ . В результаті отримаємо  $3N + 1$  піддіапазони [7], а саме  $(LL_X), (LH_X), (HL_X), (HH_X)$ , де  $X = N, \dots, 1$  – рівень розкладу.

### 3. Отримані результати

Дослідження проводилися на 50 тестових кольорових зображеннях UHD-4K якості. В якості стегоданих використано зображення двигуна розміром  $567 \times 463$  пікселів в системі кольорів RGB. Контейнери заповнювалися від 5% до 25%, з кроком 5% та від 25% до 95% з кроком 10%.

М'яка порогова обробка стегограм відбувалась трьома способами:

- вейвлет-стиснення з багаторівневим, адаптивним порогом Берга-Массара та з параметром розрідження  $\alpha = 2.5$  [9];
- вейвлет-шумоподавлення з багаторівневим, глобальним порогом Берга-Массара та з параметром розрідження  $\alpha = 2$  [9];
- вейвлет-шумоподавлення з багаторівневим та мультиплікативним порогом, розрахованими по алгоритму Донохо-Джонстона [10].

В якості базисних вейвлетів були використані вейвлети Хаара та відповідні їм скейлінг-функції. Рівень декомпозиції варіювався від 1 до 10 з кроком 1. Для екстракції прихованого повідомлення на основі МКДБ використовувався параметр  $\sigma = 3$ .

Залежності кількості незмінених біт стегоданих від ступеня заповнення контейнеру та рівня деком-

позиції ЦЗ після проведення обробки стегограми на основі вейвлет-аналізу представлені на рис. 1.

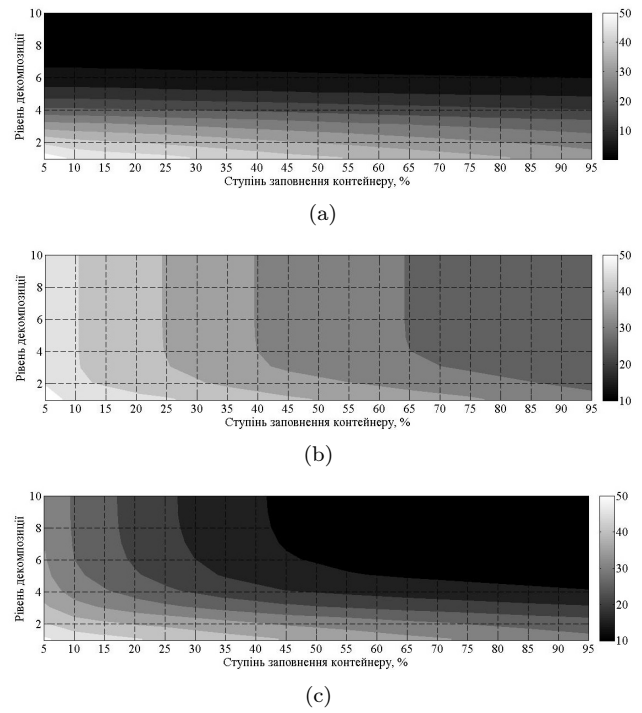


Рис. 1. Кількості незмінних біт стегоданих, прихованих в ЦЗ на основі МКДБ, після проведення: (a) – вейвлет-стиснення з багаторівневим порогом та з параметром розрідження  $\alpha = 2.5$ ; (b) – вейвлет-шумоподавлення з багаторівневим порогом та з параметром розрідження  $\alpha = 2$ ; (c) – вейвлет-шумоподавлення з багаторівневим та мультиплікативним порогом.

Стегодані приховуються на рівні молодших біт (деталі зображення), тому в результаті вейвлет-обробки стегограми, при збільшенні рівня декомпозиції, більша кількість деталізованих коефіцієнтів проходить м'яку порогову обробку. Тобто більша кількість деталізуючих коефіцієнтів при розкладі в базисі функції Хаара змінюються, а отже і ефективність деструкції стегоданих при ДВП зростає при збільшенні ступеня заповнення контейнеру та збільшенні рівня декомпозиції (рис. 1).

Вейвлет-стиснення з багаторівневим порогом з параметром розрідження  $\alpha = 2.5$ , у порівнянні з вейвлет-шумоподавленням з багаторівневим порогом, більш ефективно при деструкції стегоданих у всьому діапазоні зміни ступеня заповнення контейнера (рис. 1). Це пояснюється тим, що значення порогу при вейвлет-стисненні більші, ніж при вейвлет-шумоподавленні.

Найменш ефективним методом обробки стегограм для деструкції стегоданих виявилось вейвлет-шумоподавлення з багаторівневим порогом, при параметрі розрідження  $\alpha = 2$ . Після проведення вейвлет-стиснення з багаторівневим порогом і з параметром розрідження  $\alpha = 2.5$ , при ступенях заповнення контейнера менше 10%, при першому рівні декомпозиції руйнується практично половина стего-

даних (більше 47%), а вже при 8-му рівні декомпозиції руйнується більше 99% стегоданих.

## Висновки

В роботі встановлено, що вейвлет-стиснення є більш ефективним методом деструкції стегоданих, прихованих в ЦЗ згідно МКДБ, ніж вейвлет-шумоподавлення. Визначено, що після проведення вейвлет-стиснення при 8-ми рівнях декомпозиції у всьому діапазоні зміни ступенів заповнення контейнера відбувається деструкція більше ніж 99% стегоданих.

## Перелік використаних джерел

1. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М. : “Солон-Пресс”, серия “Аспекты защиты”, 2002. — 272 с.
2. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К. : “МК-Пресс”, 2006. — 288 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М. : Техносфера, 2005. — 1072 с.
4. Черепахова К. В., Прогонов Д. О., Куц С. М. Використання  $\gamma$ -корекції для спотворення даних, прихованих у стеганограмах. — Одинадцята наукова конференція “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики”, 2013. — К. : ВПІ ВПК “Політехніка” — с.175-176.
5. Прогонов Д. О., Куц С. М. Деструкція прихованих повідомлень.. — Десята наукова конференція “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики”, 2012. — К. : ВПІ ВПК “Політехніка” — с.110-111.
6. Смоленцев Н. К. Вейвлет-анализ в MATLAB.. — М.: “ДМК Пресс”, 2010. — 448 с.
7. Nilanjan Dey, Anamitra Bardhan Roy, Sayantan Dey A Novel Approach of Color Image Hiding using RGB Color planes and DWT. . — International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). — Volume 36, Issue.5, December 2011 — 6 с.
8. Davydov A. V. Wavelet transformations of signals.. — 2008.
9. Birgé L., Massart P. "From model selection to adaptive estimation". — in D. Pollard (ed), Festschrift for L. Le Cam, Springer. 1997 — p. 55-88.
10. Donoho D. L.; Johnstone I. M., Kerkyacharian G., Picard D. Wavelet shrinkage: asymptotia. — Jour. Roy. Stat. Soc., series B, Vol. 57, No. 2. 1995 — p. 301–369.