

ВЕЙВЛЕТ-СТИСНЕННЯ СТЕГАНОГРАМ

К. В. Черепахова¹, Д. О. Прогонов¹¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

В роботі досліджено ефективність деструкції стегоданих, прихованих в цифровому зображенні на основі методу Дей, з використанням методу вейвлет-стиснення. Отримано, що використання вейвлет-стиснення дозволяє забезпечити високий рівень деструкції стегоданих при заданому рівні спотворень стеганограм.

Ключові слова: метод Дей, вейвлет-аналіз, вейвлет-стиснення, активний стегоаналіз

Вступ

Розвиток комунікаційних мереж створює нові можливості для несанкціонованої передачі конфіденційних даних стеганографічними каналами. Для захисту конфіденційної інформації від витoku стеганографічними каналами необхідно вирішити задачі виявлення факту несанкціонованої передачі інформації та забезпечення надійної деструкції прихованих повідомлень.

Найбільш складний випадок приховування стегоданих в мультимедійні файли, зокрема цифрові зображення (ЦЗ), це приховання інформації в області перетворення контейнера (ОПК), що дозволяє підвищити стійкість (робастність) отримуваних стеганограм до існуючих методів стегоаналізу [1, 2, 3, 4, 5].

Раніше було запропоновано багато методів як виявлення, так і деструкції повідомлень, прихованих згідно класичних LSB-методів (приховання у просторовій області ЦЗ) [2, 3, 6].

В роботі [2] було встановлено, що використання вейвлет-аналізу (ВА) є ефективним методом деструкції стегоданих, прихованих в просторовій області зображення-контейнеру (ЗК). Тому представляє інтерес дослідження ефективності деструкції стегоданих, прихованих в ОПК, при використанні ВА.

Метою роботи є дослідження ефективності деструкції стегоданих, прихованих на основі методу Дей, з використанням методу вейвлет-стиснення ЦЗ.

1. Метод Дей

Метод Дей (від англ. Deu) заснований на однорівневому двовірному дискретному вейвлет перетворенні (ДВП, Discrete Wavelet Transform – DWT) ЗК та стегоданих, представлених в вигляді кольорових ЦЗ [7].

Алгоритм приховання стегоданих в ЗК, згідно методу Дей, наступний [7]:

- 1) Здійснюється переведення контейнера та стегоданих, представлених у вигляді ЦЗ, в систему кольорів RGB. Зазначимо, що розміри контейнера та стегоданих однакові.

- 2) Проводиться поділ на 4 піддіапазони за допомогою ДДВП для кожного каналу кольору (R, G, B) контейнеру та стегоданих незалежно.

- 3) Відбувається формування стеганограм шляхом вагового сумування коефіцієнтів ДДВП ЗК F_{COVER} та стегоданих F_{DATA} з ваговим коефіцієнтом α [7]:

$$F_{STEGO} = (1 - \alpha)F_{COVER} + \alpha F_{DATA},$$

де F_{STEGO} , F_{COVER} , F_{DATA} – пікселі отриманого, першого та другого зображення, відповідно.

- 4) Застосовується обернене ДДВП до отриманих коефіцієнтів F_{STEGO} кожного каналу кольору стеганограми незалежно для отримання стеганограм в просторовій області контейнера.

- 5) Об'єднуються всі канали кольору стеганограми. В якості базисних функцій ДДВП були використані вейвлети Хаара і відповідні їм скейлінг-функції.

Екстракція стегоданих F_{EXDATA} відбувається шляхом оберненого вагового сумування коефіцієнтів ДДВП стеганограми F_{STEGO} та ЗК F_{COVER} [7]:

$$F_{EXDATA} = \frac{F_{STEGO} - (1 - \alpha)F_{COVER}}{\alpha},$$

де F_{EXDATA} – стегодані, отримані в результаті екстракції, згідно методу Дей.

2. Вейвлет перетворення

Вейвлет перетворення (ВП) описує багатоетапний процес розкладу сигналу в набір базисних функцій – вейвлетів, які є локалізованими в просторі (часі) і частотній області [8].

Розрахунок апроксимуючих cA_j , горизонтальних cH_j , вертикальних cV_j та діагональних cD_j деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів полутонного зображення $s(x, y)$ відбувається згідно прямого двовірного дискретного ВП (ДДВП) [8]:

$$cA_1 = 2^j \sum_{x,y} s(x, y) \left(\varphi(2^j x - k) \varphi(2^j y - n) \right),$$

$$cH_1 = 2^j \sum_{x,y} s(x, y) \left(\varphi(2^j x - k) \psi(2^j y - n) \right),$$

$$cV_1 = 2^j \sum_{x,y} s(x,y) \left(\psi(2^j x - k) \varphi(2^j y - n) \right),$$

$$cD_1 = 2^j \sum_{x,y} s(x,y) \left(\psi(2^j x - k) \psi(2^j y - n) \right),$$

де $\varphi(x)$ – материнський вейвлет; $\psi(x)$ – масштабуюча функція для заданого материнського вейвлета (скейлінг-функція).

Обернене ДДВП зображення визначається наступним чином [8]:

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

3. Вейвлет-стиснення ЦЗ

В результаті проведення ДДВП ЦЗ зображення представлене деталізуючими та апроксимуючими коефіцієнтами. Для відновлення ЦЗ без погіршення якості необхідно виконати зворотне ДДВП з незмінними апроксимуючими та деталізуючими коефіцієнтами.

Процедура вейвлет-стиснення (ВС) полягає у застосуванні порогової обробки до деталізуючих коефіцієнтів (ДК) ДДВП ЦЗ – значення ДК, що менші деякого порогового значення, обнуляються («жорсткий» поріг) або обмежуються по амплітуді («м'який» поріг). Це призводить до необоротних змін ЦЗ, внаслідок неможливості оцінки початкового значення ДК, та, відповідно, внесення спотворень у приховані повідомлення [9].

Значення порогового коефіцієнту сильно впливає на якість ЦЗ, оскільки збільшення значення порогового коефіцієнту призводить до зменшення якості синтезованого ЦЗ [9].

Для мінімізації спотворень ЦЗ при проведенні ВС можуть застосовуватися адаптивні методи визначення порогу (наприклад, адаптивний алгоритм Берга-Массара).

4. Отримані результати

Дослідження проводилися на пакеті MIRFlisr25000. В якості стегоданих використано зображення-карта розміром 800 на 800 пікселів. Ступінь заповнення контейнеру варіювався від 5% до 25%, з кроком 5% та від 25% до 95% з кроком 10%.

Порогова обробка ДК розкладу стегограм відбувалась на основі ВС з багаторівневим, адаптивним порогом Берга-Массара та з параметром розрідження $\alpha = 1.5$.

В якості базисних вейвлетів були використані вейвети Хаара та вейвети Добеші та відповідні їм

скейлінг-функції. Рівень декомпозиції варіювався від 1 до 3 з кроком 1.

Для оцінки ступеня деструкції стегоданих та спотворення стегограм після проведення обробки ЦЗ було використано функціонал якості стегограм та стегоданих, відповідно [10].

Функціонал якості розраховується на основі середніх значень метрик за формулами [10]:

$$F_C = \frac{1}{N_{metrics}} \sum_{i=1}^{N_{metrics}} \frac{L_i(I_{coverIN}, I_{coverOUT}) - L_i(I_{coverIN}, I_{coverFILT})}{L_i(I_{coverIN}, I_{coverOUT})},$$

$$F_S = \frac{1}{N_{metrics}} \sum_{i=1}^{N_{metrics}} \frac{L_i(I_{dataIN}, I_{dataOUT}) - L_i(I_{dataIN}, I_{dataFILT})}{\max(L_i(I_{dataIN}, I_{dataOUT}), L_i(I_{dataIN}, I_{dataFILT}))},$$

де $L_i()$ – i -та метрика якості, $N_{metrics}$ загальна кількість метрик якості, $I_{cover/dataIN/OUT}$ – зображення-контейнер/стегодані до/після передавання каналом передачі, $I_{cover/dataFILT}$ – зображення-контейнер/стегодані із застосуванням методів обробки ЦЗ.

Для обчислення функціоналу якості стегограми та стегоданих були розраховані:

- метрики просторового спотворення: середня квадратична помилка (Mean Square Error, MSE) та якість зображення (Image Fidelity, IF);
- кореляційні метрики: нормована взаємна кореляція (Normalized Cross-Correlation, NCC) та відстань Ченаковського (Czenakowski Distance, CD);
- візуальні метрики якості: максимальне співвідношення сигнал-шум (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) та структурна схожість (Structure SIMilarity, SSIM).

За результатами проведених досліджень встановлено, що значення функціонала якості стегоданих F_S рівне 1 при всіх ступенях заповнення контейнера-зображення, рівнів декомпозиції сигналу для вейвлетів Хаара та Добеші. Тобто при ВС в базисах вейвлетів Хаара та Добеші досягається високий рівень деструкції стегоданих.

Залежності зміни значень функціонала якості стегограм F_C після проведення обробки стегограми, на основі вейвлет-аналізу, представлені на рис. 1.

При збільшенні рівня декомпозиції, більша кількість деталізуючих коефіцієнтів при розкладі в базисі функції Хаара та Добеші проходить м'яку порогову обробку, що призводить до зміни стегоданих. Отже і ефективність деструкції стегоданих при ВС зростає при збільшенні ступеня заповнення контейнеру та збільшення рівня декомпозиції (рис. 1).

Використання вейвлетів Хаара при ВА дозволяє мінімізувати спотворення стегограми в порівнянні з використанням вейвлетів Добеші вищих порядків (рис. 1). Це пояснюється тим, що вейвети Добеші вищих порядків є більш гладкими функціями в порівнянні з вейветами Хаара.

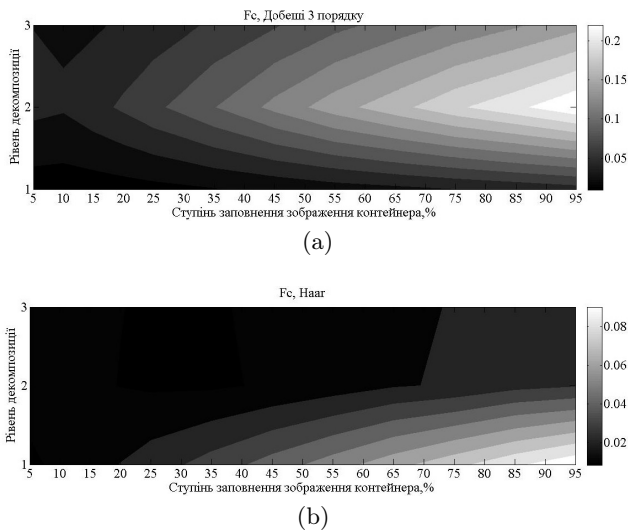


Рис. 1. Значення функціоналу якості стеганограм після проведення обробки стеганограми, на основі ВС: (а) – в базисі вейвлета Добеші 3 порядку; (б) – в базисі вейвлетів Хаара від ступення заповнення ЗК та рівня декомпозиції ЦЗ. Ваговий коефіцієнт α , для методу Дея, рівний 0,02.

Висновки

Показано, що використання ВА дозволяє забезпечити високий ступінь деструкції стегоданих при мінімізації спотворень стеганограм. Визначено, що використання вейвлетів Хаара дозволяє мінімізувати спотворення стеганограми при заданому рівні деструкції стегоданих в порівнянні з використанням вейвлетів Добеші вищих порядків.

Перелік використаних джерел

1. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К. : «МК-Пресс», 2006.
2. Черпахова К.В., Прогонов Д.О., Куц С.М. Вейвлет-анализ стеганограм. — Матеріали XII Всеукр.наук.-практ. конф. «Теоретичні та прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». — К. : ВПІ ВПК «Політехніка», 2015.
3. Чіпак М.О., Прогонов Д.О., Куц С.М. Оцінка ефективності R/S-аналізу для виявлення стегоданих в 2D контейнерах. — Матеріали XII Всеукр.наук.-практ. конф. «Теоретичні та прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». — К. : ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. — С. 227–228.
4. Дорошенко А.В., Прогонов Д.О., Куц С.М. Демаскуючі ознаки повідомлень, вбудованих у частотній області цифрових зображень. — Матеріали XII Всеукр.наук.-практ. конф. «Теоретичні та прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». — К. : ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. — С. 177–178.
5. Stefan Katzenbeisser, Fabien Petitcolas. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking. — Norwood : Artech House, 2000.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М. : Техносфера, 2005.
7. Dey Nilanjan, Roy Anamitra Bardhan, Dey Sayantan. A Novel Approach of Color Image Hiding using RGB Color planes and DWT. No. 5. — International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 36, 2011.
8. Davydov A.V. Вейвлетные преобразование сигналов Wavelet transformations of signals. — 2008.
9. Вейвлет-анализ в примерах. Учебное пособие. / О.В. Нагорнов, В.Г. Никитаев, В.М. Простокішин и др. — М. : НИЯУ МИФИ, 2010.
10. Прогонов Д.А., Яцура П. П. Эффективность деструкции стеганограмм с применением стандартных методов обработки изображений. — 2015.