

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ДЕСТРУКЦІЇ СТЕГАНОГРАМ

П. П. Яцура^{1, а}, Д. О. Прогонов^{1, б}

¹ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Фізико-технічний інститут

Анотація

У роботі досліджено ефективність використання стандартних та спеціалізованих методів обробки цифрових зображень для деструкції стеганогам з даними, вбудованими у частотній області зображення-контейнера. Показано, що застосування спеціальних методів обробки зображень, зокрема білатеральної фільтрації, не дозволяє суттєво підвищити ступінь деструкції прихованих повідомлень у порівнянні з випадком використання стандартних методів обробки.

Ключові слова: активний стегоаналіз, обробка зображень, стандартні методи обробки зображень, метод Дея, білатеральна фільтрація

Вступ

Забезпечення надійного захисту інформації з обмеженим доступом (ІЗОД) державних підприємств та приватних корпорацій є важливою та актуальною задачею сьогодні. Вирішення даної задачі потребує розробки ефективних методів раннього виявлення прихованих (стеганографічних) каналів несанкціонованої передачі ІЗОД та обміну повідомленнями між злоумисниками [1, 2]. Постійне вдосконалення відомих та поява новітніх методів створення стеганографічних каналів обміну суттєво ускладнює виявлення прихованих повідомлень (стеганогам). Внаслідок цього становить інтерес використання відомих методів обробки мультимедійних даних, зокрема цифрових зображень (ЦЗ), з метою деструкції вбудованих повідомлень (стегоданих).

У роботі [3] було показано, що використання стандартних методів обробки ЦЗ, зокрема гама-корекції, медіанної фільтрації та інших, дозволяє забезпечити високу ступінь деструкції повідомлень (стегоданих), прихованих у просторовій області зображення-контейнера (ЗК), проте не дає можливості забезпечити надійну деструкцію стегоданих, вбудованих в області перетворення контейнера (ОПК). Метою роботи є дослідження ефективності використання спеціалізованих методів обробки ЦЗ, зокрема білатеральної фільтрації, для деструкції стегоданих, вбудованих в ОПК, зокрема з використанням спектральних перетворень.

1. Приховання повідомлень в області перетворення цифрових зображень

У роботі розглянуто один з найбільш відомих методів вбудовування стегоданих у частотній області

зображень-контейнерів – метод Дея [4]. Особливістю даного методу є використання двовимірного дискретного вейвлет-перетворення (ДДВП) для обробки окремих каналів кольору як зображень-контейнерів, так і стегоданих, представлених у вигляді повнокольорових ЦЗ.

Апроксимуючі (W_Φ) та деталізуючі (W_Ψ) коефіцієнти ДДВП напівтонового зображення $f(x, y)$ розмірами $M \times N$ (пікселів) розраховуються згідно таких формул [5]:

$$W_\Phi(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \Phi_{j_0, m, n}(x, y),$$

$$W_\Psi^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \Psi_{j, m, n}^i(x, y),$$

де j_0 – початковий рівень розкладання ЦЗ; $\Psi_{j_0, m, n}^i, \Phi_{j_0, m, n}$ – вейвлет та відповідна йому скейлінг-функція; $i = H, V, D$ – тип деталізуючих коефіцієнтів (горизонтальні, вертикальні, діагональні). У якості базисних функцій ДДВП у роботі були використані вейвлет Хаара і відповідна йому скейлінг-функція.

Формування стеганогам згідно методу Дея відбувається шляхом вагового додавання коефіцієнтів ДДВП окремих каналів кольору контейнера C_1 та стегоданих C_2 з ваговим коефіцієнтом G [4]:

$$S = (1 - G) \cdot C_1 + G \cdot C_2$$

де S – коефіцієнти ДДВП заповненого зображення-контейнера (стеганограми); G – ваговий коефіцієнт, що пропорційний енергії прихованих повідомлень. Для отримання стеганограми у просторовій області до S застосовується зворотне ДДВП [4].

^аyatsura.pvl@gmail.com

^бprogonov@gmail.com

2. Стандартні методи обробки ЦЗ

2.1. Гама-корекція

Амплітудна характеристика багатьох приладів, які використовуються для введення, друку або візуалізації зображень, відповідає показниковому закону [5]. З метою компенсації нелінійної амплітудної характеристики моніторів перед виведенням зображення на екран до ЦЗ застосовується гама-корекція [5]:

$$s = c \cdot r^\gamma$$

де r і s – відповідно, значення яскравості пікселів ЦЗ до та після корекції, c, γ – масштабуюча та коректуюча константи. У більшості випадків значення масштабуючої константи є рівними одиниці, в той час як значення коректуючої константи змінюється в діапазоні від 1.8 до 2.5.

2.2. Медіанна фільтрація

Для придушення адитивного імпульсного шуму на зображенні широко використовується медіанна фільтрація (МФ), запропонована у роботах Джона Тьюкі (John Tukey) [6]. Обробка напівтонового зображення I розміром $M \times N$ (пікселів) з використанням МФ полягає в [6]:

- 1) для кожного положення ковзного вікна відліки, які потрапили до нього, упорядковуються по зростанню (або спаданню) значень;
- 2) середній відлік у цьому впорядкованому списку називається медіаною групи (у випадку парної кількості відліків медіаною є середнє арифметичне двох середніх відліків);
- 3) значення центрального відліку у вікні замінюється отриманою медіаною.

У якості ковзного вікна (КВ) для обробки ЦЗ використовуються КВ різної форми (рис. 1), яке включає непарне число відліків K .

У результаті застосування медіанного фільтра похилі ділянки і різкі перепади значень яскравості на зображеннях (наприклад, контури об'єктів) не змінюються, проте імпульсні завади, розмір яких складає менше половини вікна, будуть подавлені.



Рис. 1. Позиції пікселів, що використовуються при проведенні локальної обробки ЦЗ із застосуванням МФ для розміру вікна (пікселів): (а) – 3×3 , (б) – 5×5 .

2.3. Вінерівська фільтрація

Вінерівська фільтрація (ВФ) є адаптивним методом обробки ЦЗ, що використовується для відновлення початкового (незашумленого) зображення. Це відповідає вирішенню задачі мінімізації цільової функції F [7, 8, 9]:

$$F(d, y) = E\|d - y\|^2 = E(d - y)(d - y)^T$$

де d, y – відповідно, вихідне та оброблене зображення; E – функція визначення середнього значення.

3. Сучасні методи обробки ЦЗ. Білатеральна фільтрація

Недоліком використання стандартних методів обробки цифрових зображень є зниження контрастності ЦЗ, а також спотворення контурів об'єктів. Для подолання даних обмежень зі збереженням високої ефективності придушення шумів у ЦЗ були запропоновані спеціалізовані методи обробки зображень, зокрема білатеральна фільтрація.

Обробка вихідного (зашумленого) напівтонового зображення I розміром $M \times N$ (пікселів) з використанням білатерального фільтра проводиться згідно з формулою:

$$I_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} (G_\sigma(\|p - q\|) \times G_\sigma(|I_p - I_q|) \times I_q),$$

$$W_p = \sum_{q \in S} G_\sigma(\|p - q\|) \times G_\sigma(|I_p - I_q|),$$

де $p = (p_x, p_y) \in S$ – позиція поточного (центрального) пікселя; I_p – значення яскравості поточного пікселя p ; S – окіл навколо поточного пікселя ЦЗ; I_p, I_q – інтенсивність пікселів p і q ; G_σ – фільтр Гауса з нульовим математичним очікуванням та дисперсією рівною σ .

Особливістю БФ є врахування не тільки просторової близькості пікселів ($\|p - q\|$), а й відмінностей у значеннях їх яскравостей ($|I_p - I_q|$). Це дає можливість зменшити рівень шумів у зображенні зі збереженням чітких контурів навколо об'єктів. Обмеженнями практичного застосування БФ є його висока обчислювальна складність, що потребує використання різних підходів до оптимізації обробки зображень з його використанням [10].

4. Вихідні дані

Дослідження проводилося з використанням 100 повнокольорових ЦЗ, псевдовипадковим чином обраних зі стандартного пакета ЦЗ MIRFlickr-25000. У якості стегоданих було використано зображення з різним ступенем деталізації – портрет, креслення та карта. Ступінь заповнення зображення-контейнера стегоданими (частка змінених коефіцієнтів ДДВП зображення-контейнера) варіювався у межах від 5% до 25% з кроком 5%, від 25% до 95% з кроком 10%.

При проведенні досліджень використано такі значення параметрів для розглянутих методів обробки ЦЗ:

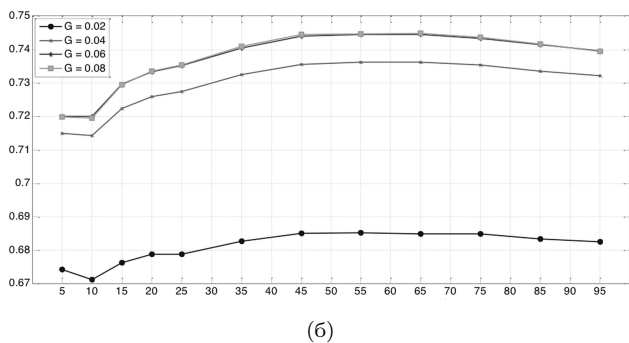
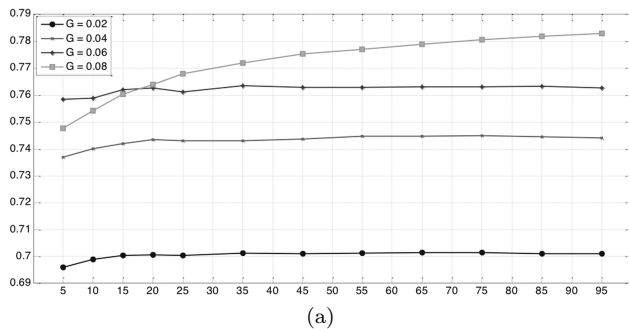
- 1) Гама-корекція: значення коректуючої константи – 0.8, 0.9, 1.1, 1.2;
- 2) Медіанна фільтрація: розміри вікна (пікселів) – 5×5 , 11×11 , 17×17 , 23×23 ;
- 3) Вінерівська фільтрація: розміри вікна (пікселів) – 5×5 , 11×11 , 17×17 , 23×23 ;
- 4) Білатеральна фільтрація: розміри вікна (пікселів) – 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 ; значення σ для фільтра Гауса – 1.

Для проведення розрахунків було підготовано програмні модулі на мові програмування Python. Набір

статистики при обробці незаповнених та заповнених контейнерів проводився з використанням обчислювальних ресурсів кластера НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Для оцінки змін зображення-контейнера та стегоданих при проведенні деструкції був використаний функціонал якості [3], який представляє собою усереднене нормоване значення стандартних метрик якості ЦЗ: Mean Square Error (MSE); Image Fidelity (IF); Normalized Cross-Correlation (NCC); Czenakowski Distance (CD); Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR); Structural Similarity (SSIM).

5. Результати дослідження

За результатами аналізу отриманих даних було побудовано графіки залежностей значення функціоналу для деструкції стегоданих (F_s) від ступеня заповнення зображення-контейнера при використанні стандартних та спеціалізованих методів обробки (рис. 2). Незважаючи на використання спеціалізованого методу обробки ЦЗ – білатерального фільтра (рис. 2г) – ступінь деструкції стегоданих у даному випадку майже не відрізняється (менше 5%) від рівня деструкції стегоданих при використанні стандартних методів обробки ЦЗ (рис. 2а-2в).



Висновки

За результатами порівняльного аналізу ефективності деструкції стегонограм з використанням стандартних та спеціалізованих методів обробки, зокрема білатерального фільтра, встановлено, що застосування спеціальних методів не дозволяє суттєво підвищити ступінь деструкції прихованих повідомлень.

Перелік використаних джерел

1. Cisco Systems, Inc. [Електронний ресурс]: Веб-сайт. — Електрон. дані та прог. — Режим доступу: <http://www.cisco.com/> — Назва з екрану.

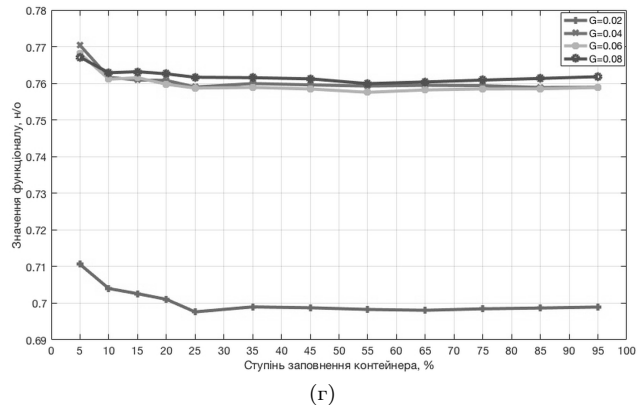
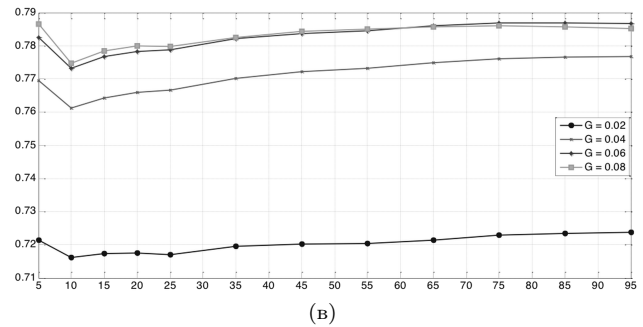


Рис. 2. Графіки залежності значення функціоналу F_s від ступеня заповнення зображення-контейнера стегоданими при деструкції стегонограм з використанням: reffig:gamma – гама-корекції; 2б – медіанний фільтрації; 2в – вінерівської фільтрації; 2г – білатеральний фільтрації.

2. Конахович Ф. Г., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К.: «МК-Пресс» — 2006. — С. 288, ил.
3. Яцура П. П. Активный стегоанализ повидомлень, прихованих методами Дея та Елайна у цифрових зображеннях — Кафедра ФТЗЗІ ФТІ НТУУ «КПІ». — 2015 — С. 57, ил.
4. Dey N., Roy A.B., Dey S. A Novel Approach of Color Image Hiding using RGB Color planes and DWT — International Journal of Computer Applications. vol. 36 (5) — December 2011 — С. 19-24.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера — 2005. — С. 1072.
6. Сойфер В. А Методы компьютерной обработки изображений. — М.: ФИЗМАЛИТ — 2003. — С. 784.
7. Джиган В. И Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. — М.: Техносфера — 2013. — С. 528.
8. William H. Press, Spring Term, Computational Statistics with Application to Bioinformatics. — Unit 19: Wiener Filtering (and some Wavelets) — The University of Texas at Austin — 2008 — С. 26.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 2 — М.: Мир — 1982. — С. 480.
10. Eisemann E., Durand F. Flash photography enhancement via intrinsic relighting. — ACM Transactions on Graphics — 2004 — С. 673-678.