

ВИЯВЛЕННЯ СТЕГАНОГРАМ З ДАНИМИ, ВБУДОВАНИМИ В ОБЛАСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ, З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ

А. В. Дорошенко¹, Д. О. Прогонов¹, С. М. Куш¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

У роботі досліджено ефективність застосування моделей просторової кореляції (МПК) [1] для виявлення стеганограм з даними, вбудованими в області перетворення контейнера (ОПК). Для аналізу змін параметрів МПК, внаслідок приховування повідомлень в ОПК, були використані стандартні тести Морана, Джері, Гетіса-Орда та LISA. Показано, що вбудовування стегоданих в ОПК призводить до суттєвих змін результатів тестів Морана та LISA навіть при слабкому ступені заповнення зображення-контейнера (менше 10%).

Ключові слова: пасивний стегоаналіз, моделі просторової кореляції, область перетворення контейнера

Вступ

Постійне вдосконалення існуючих та поява нових стеганографічних систем (СС) суттєво ускладнює виявлення прихованих каналів зв'язку при використанні існуючих систем контролю трафіку. Особливістю сучасних СС є широке використання методів приховування повідомлень в області перетворення контейнеру (ОПК), зокрема, цифрових зображень (ЦЗ), що дозволяє підвищити стійкість стеганограм до методів пасивного та активного стегоаналізу. Тому актуальною є задача пошуку нових підходів до проведення пасивного стегоаналізу ЦЗ на основі аналізу змін параметрів ЦЗ внаслідок вбудовування стегоданих в ОПК.

Для виявлення факту вбудовування стегоданих в ЦЗ широко використовуються методи статистичного та структурного аналізу зображень [2, 3]. Обмеженням практичного застосування цих методів є необхідність використання простору ознак високої розмірності (наприклад, 34671 параметр для SRM моделі [4]), щоб забезпечити задану точність роботи стегодетектора.

Одним із поширених методів пасивного стегоаналізу ЦЗ є дослідження змін кореляційних властивостей зображень-контейнерів (ЗК) внаслідок приховування повідомлень. Застосування методів класичного кореляційного аналізу (ККА) в даному випадку має певні обмеження, пов'язані з їхньою високою обчислювальною складністю, особливо у випадку аналізу ЦЗ високої якості [5]. Представляє інтерес застосування спеціальних методів кореляційного аналізу ЦЗ, що дозволяють зменшити час виявлення стеганограм при забезпеченні заданої точності стегодетектора.

У роботі вперше запропоновано використання моделей просторової кореляції (МПК) для дослідження змін кореляційних характеристик ЗК при вбудовуванні стегоданих. Перевагою МПК у порівнянні з

ККА є можливість дослідження як глобальних, так і локальних змін кореляційних характеристик ЦЗ [6]. Становить інтерес дослідження ефективності використання МПК в найбільш складних випадках пасивного стегоаналізу ЦЗ – приховування повідомлень в ОПК, зокрема, в спектральній області ЦЗ.

Метою роботи є оцінка ефективності застосування стандартних тестів МПК для виявлення слабких змін характеристик ЗК при вбудовуванні стегоданих у спектральній області ЦЗ із застосуванням двомірного дискретного вейвлет-перетворення (ДДВП).

1. Модель просторової кореляції

Просторова кореляція (ПК) була вперше запропонована для дослідження просторово-часових даних. ПК є розширенням поняття кореляції на випадок двомірних вихідних даних [6] і використовується для оцінки близькості значень параметрів об'єктів всередині деякого околу та вивчення природи і сили взаємозв'язку між ними. Аналіз ЦЗ на основі МПК проходить у декілька етапів. На першому етапі проводиться аналіз просторового розміщення досліджуваних об'єктів та формується матриця суміжності W . На другому етапі визначаються кореляційні зв'язки між окремими об'єктами з використанням стандартних тестів Морана, Джері, Гетіса-Орда та LISA.

Тест Морана (Moran's I) заснований на оцінці глобальної кореляції між досліджуваними об'єктами [7]. Коефіцієнт I у тесті Морана визначається згідно з формулою:

$$I = \frac{N}{\sum_i \sum_j \omega_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j \omega_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}, \quad (1)$$

де N – кількість об'єктів; X_i , X_j – значення параметрів i -того та j -того об'єктів; \bar{X} – середнє значення параметрів; ω_{ij} – ваговий коефіцієнт, що відображає ступінь близькості між точками i та j у просторі. Коефіцієнт Морана приймає значення в ін-

тервалі від (-1) (негативна ПК) до $(+1)$ (позитивна ПК).

Тест Джері (Gear's C) дозволяє оцінити ступінь просторової залежності суміжних комірок [8]. Коефіцієнт просторової кореляції C у тесті Джері визначається як:

$$C = \frac{(N-1) \sum_i \sum_j \omega_{ij} (X_i - X_j)^2}{2Q \sum_i (X_i - \bar{X})^2}, Q = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \omega_{ij}$$

Значення C лежить в інтервалі від нуля до двох, при чому $C = 1$ відповідає випадку відсутності кореляції значень яскравості суміжних пікселів. Значення C менше "1" відповідають випадку збільшення позитивної ПК, а значення більше "1" – збільшення негативної ПК.

Тест Гетіса-Орда (Getis and Ord's O) дозволяє оцінити концентрацію об'єктів $O(d)$ всередині заданого околу d :

$$O(d) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \omega_{ij}(d) X_i X_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_i X_j},$$

Значення параметра $O(d)$ лежать в інтервалі від 0 до $+\infty$. Для зміни масштабу $O(d)$ у роботі було використано логарифмічне стиснення:

$$O_{comp}(d) = \log[O(d) - \min(O(d)) + 1]$$

Тест LISA використовується для оцінки ступеня просторового групування подібних значень навколо фіксованого об'єкта:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^N \omega_{ij} z_j; z_i = \frac{X_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}}.$$

Сума параметрів I_i по всім елементам ЦЗ рівна значенню коефіцієнта I в тесті Морана (1), що використовується для оцінки глобальної автокореляції між пікселями зображення.

Необхідно відмітити, що у більшості випадків при формуванні стегограм, вбудовування стегоданих у ЦЗ відбувається на рівні шумів ЗК. Для розділення низькочастотних (структурних) та високочастотних (шумових) компонент ЦЗ у роботі було використано ДДВП. У результаті були отримані високочастотні компоненти зображень, що відповідають фільтрації рядків (стовпців) ЦЗ з використанням фільтрів низьких частот (скейлінг-функція) та фільтрів високих частот (вейвлет-функція). Для підвищення відношення стего/шум, де шумом є компоненти розкладу ЦЗ, що не містять стегодані, при проведенні досліджень були використані деталізуючі коефіцієнти (ДК) розкладу ЦЗ, які відповідають випадку обробки рядків (стовпців) вихідного зображення з використанням вейвлет-функції. У якості базисних функцій ДДВП були використані вейвлет Хаара та відповідна йому скейлінг-функція.

При проведенні стегоаналізу з використанням метрик МПК отримана матриця ДК була поділена на фіксовану кількість комірок розміром $N \times N$ елементів. Для кожної комірки розраховувалося середнє значення M , дисперсія D , коефіцієнти асиметрії S і ексцесу K значень ДК, значення яких записувалися

у відповідні матриці X_M, X_D, X_S, X_K . Матриця W формувалась із врахуванням суміжності пікселів по горизонталі та вертикалі.

2. Метод вбудовування Дея

Метод полягає у додаванні коефіцієнтів ДДВП (один рівень розкладу ЦЗ) окремих каналів кольору контейнера (F_ψ^I) та стегоданих (F_ψ^D), представлених у вигляді ЦЗ, з коефіцієнтом G [9]:

$$F_\psi^S = (1 - G) \times F_\psi^I + G \times F_\psi^D,$$

де F_ψ^S – коефіцієнти ДДВП стегограми. Параметр G змінювався від $G_{min} = 0.02$ (нижня межа відновлення стегоданих) до $G_{max} = 0.08$ (поява візуальних спотворень на ЗК) з кроком $\Delta = 0.02$. Для формування стегограм у просторовій області до отриманих коефіцієнтів F_ψ^S застосовувалося зворотнє ДДВП.

3. Результати дослідження

При проведенні досліджень був використаний тестовий пакет зі 100 УНД-4К зображень. У якості стегоданих були використані три ЦЗ з різним ступенем деталізації: креслення, карта та портрет. Параметри тестових ЦЗ та стегоданих представлені в табл. 1.

Ступінь заповнення контейнера (частка змінених коефіцієнтів ДДВП ЗК) змінювалась від 5% до 25%, з кроком 5%, та від 25% до 95% з кроком 10%. Розмір комірок N становив 15, 20, 30 та 40 елементів.

На рис. 1 зображено значення метрик МПК, усереднених по всім розмірам блоків розбиття ЦЗ, при варіації ступеня заповнення контейнера, параметра G та використання стегоданих типу "Креслення".

Вбудовування стегоданих (креслення) призводить до суттєвих змін значень коефіцієнту I для тесту Морана (рис. 1(a)) вже при невеликому відсотку заповнення контейнера, а для тестів Джері (рис. 1(b)) та LISA (рис. 1(d)) викликає незначну зміну значень коефіцієнтів – не більше 10% відносно випадку чистого ЗК. Результати тесту Гетіса-Орда (рис. 1(c)) свідчать про низьку ефективність його використання для виявлення стегограм.

Необхідно зазначити, що при вбудовуванні стегоданих типу "Карта" значення метрик практично співпадають з отриманими результатами (рис. 1), а при прихованні "Портрету" призводить до суттєвого зменшення змін розглянутих тестів. Таким чином, за величиною змін результатів тестів МПК при вбудовуванні стегоданих можливо розпізнавати тип прихованих повідомлень.

Висновки

За результатами проведеного аналізу встановлена висока ефективність тесту Морана при виявленні стегограм з даними, вбудованими в області перетворення контейнера з використанням ДДВП.

Табл. 1. Параметри тестових зображень та стегоданих

| | Стегодані | | | Контейнер |
|-------------------------------|-----------|---------|---------|-----------|
| | креслення | карта | портрет | |
| Роздільна здатність, пікселів | 567×463 | 800×800 | 565×850 | 3820×2160 |
| Формат | BMP | | | JPG |
| Глибина кольору, біт/піксель | 24 | | | 24 |

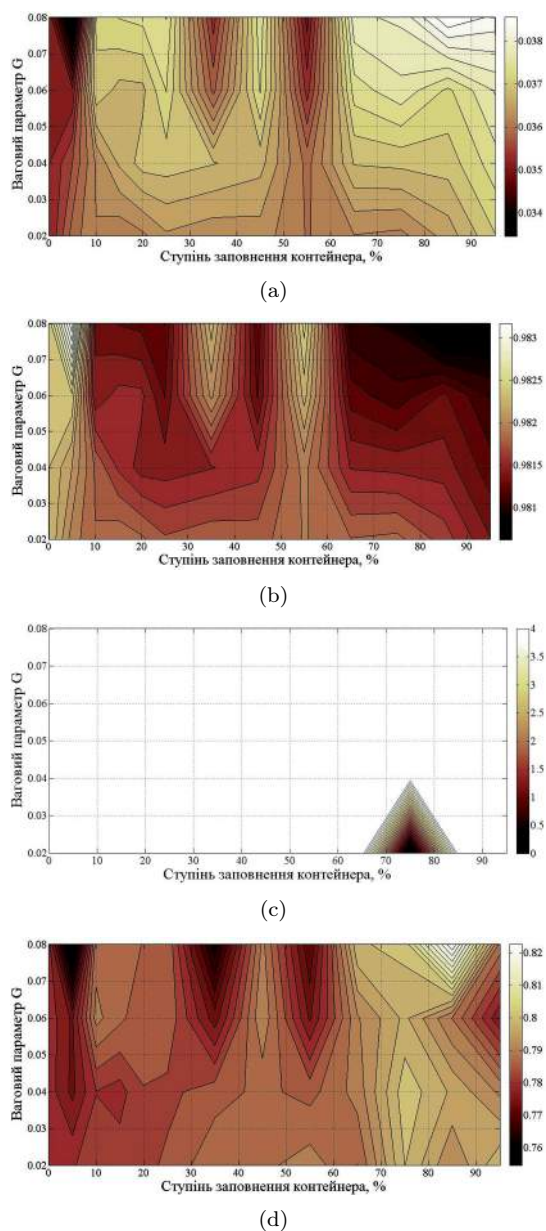


Рис. 1. Значення метрик кореляції окремих комірок матриці X_S при вбудовуванні стегоданих (креслення) та використанні тестів: (a) – Морана; (b) – Джері; (c) – Гетіса-Орда; (d) – LISA.

Перелік використаних джерел

1. Daniel A. Griffith Methods: Spatial autocorrelation \ University of Texas at Dallas, Richardson, Texas, USA
2. Holub V. Random Projections of Residuals for Digital Image Steganalysis \ Holub V., Fridrich J. \ IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2013. – Vol. 8, Issue 12. – p. 1996-2006.
3. Дорошенко А. В. Спектральні характеристики стеганограм \ Дорошенко А. В., Куц С. М., Прогонов Д. О. \ Матеріали VII Міжнародної наук.-практ. конференції “Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій”. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – с. 327-328;
4. Kodovsky J. Steganalysis of JPEG Images Using Rich Models \ J. Kodovsky, J. Fridrich \ Proceedings of 14th SPIE conference “Electronic Imaging, Media Watermarking, Security, and Forensics”. – San Francisco, California, USA. January 23–25, 2012. – Vol. 8303. – p. 1-12
5. Прогонов Д. Вариограмний аналіз стеганограм \ Прогонов Д., Куц С. \ Матеріали III-ої Міжнародної наук.-техн. конференції “Захист інформації і безпека інформаційних систем”. – Львів: Українська академія друкарства, 2014. – с. 84-85.
6. Cressie N. Statistics for spatial-temporal data \ Cressie Noel, Christopher K. Wikle \ John Wiley & Sons, 2011. – 531 p.
7. Moran P. A. P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena \ Biometrika 37 (1): 17–23 p., 1950.
8. Geary, R. C. The Contiguity Ratio and Statistical Mapping \ The Incorporated Statistician 5 (3): 115–145 p., 1954
9. Dey N. A Novel Approach of Color Image Hiding using RGB and DWT \ N. Dey, A. B. Roy, S. Dey \ International Journal of Computer Applications. – 36 (5), December 2011. – p. 19-24.