

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТЕГАНОГРАМ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОРЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

А. В. Дорошенко^{1, а}, Д. О. Прогонов^{1, б}

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

Анотація

У роботі досліджено використання моделі авторегресії з ковзним середнім для виявлення стеганогам зі стегоданими, вбудованими в області перетворення контейнера. Експериментальні дослідження довели високу точність оцінки параметрів стеганогам, зокрема ступеня заповнення зображення-контейнера стегоданими, при використанні запропонованого алгоритму.

Ключові слова: стеганографія, пасивний стегоаналіз, авторегресійна модель з ковзним середнім, ARMA

Вступ

Розвиток інформаційних технологій в останні десятиліття обумовлює виникнення нових загроз інформаційній безпеці державних установ та корпорацій. Широке використання прихованих (стеганографічних) систем зв'язку при проведенні атак злоумисниками на інформаційні ресурси установ та підприємств обумовлює актуальність та важливість задачі пошуку високоточних методів раннього виявлення та деструкції прихованих повідомлень (стеганогам).

У якості файлів-контейнерів для вбудовування стегоданих широко використовуються цифрові зображення (ЦЗ) [1]. Існуючі методи приховування повідомлень у ЦЗ можна розділити на два класи [2]: вбудовування в просторовій області (LSB-метод) та в області перетворення контейнера (ОПК). Вагомим обмеженням практичного застосування LSB-методів є висока чутливість до будь-яких змін зображення-контейнера (ЗК) при передачі стеганогам каналами зв'язку [3]. Для забезпечення високої стійкості (робастності) отримуваних стеганогам до поширених методів обробки ЦЗ при передачі каналами зв'язку, приховання повідомлень проводиться в ОПК шляхом змін коефіцієнтів розкладу ЗК в заданому базисі, наприклад, гармонічних функцій, вейвлет-функцій тощо.

Для виявлення стеганогам з даними, вбудованими як у просторовій області ЗК, так і в області перетворення контейнера, запропоновані ефективні методи статистичного та структурного стегоаналізу [4, 5]. Вибір ефективних методів деструкції прихованих повідомлень потребує оцінки параметрів стеганогам, наприклад, ступеня заповнення ЗК стегоданими, енергії прихованих повідомлень, зокрема у випадку вбудовування повідомлень в ОПК.

У роботі [6] показано можливість використання авторегресійної моделі з ковзним середнім (ARMA) у задачах стегоаналізу та визначено оптимальні параметри моделі для дослідження стеганогам. Подальший інтерес становить дослідження використання ARMA моделей для оцінки параметрів стеганогам, сформованих з використанням відомих методів приховання повідомлень в ОПК.

1. Модель ARMA

Модель ARMA узагальнює дві більш прості моделі часових рядів — авторегресії (AR) та ковзного середнього (MA) [7] — та може бути інтерпретована як лінійна модель множинної регресії:

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \beta_j \varepsilon_{t-j}, \quad c = \text{const},$$

де X_t — досліджуваний часовий ряд; $p, q \in N$ — порядок моделі AR та моделі MA; ε_t — послідовність незалежних випадкових величин з однаковим законом розподілу та нульовим математичним очікуванням; α та β — коефіцієнти авторегресії та ковзного середнього.

У роботі [6] досліджено використання ARMA-моделей для визначення вихідного виду незаповненого ЗК. За результатами аналізу отриманих даних визначено оптимальні параметри ARMA-моделі (p, q) : $(1, 2)$ та $(2, 1)$ за критерієм мінімізації середньоквадратичного відхилення змодельованих зображень від початкових.

2. Метод вбудовування Дея

Даний метод заснований на прихованні повідомлень у частотній області з використанням двовірного дискретного вейвлет-перетворення (ДДВП) ЗК. Формування стеганогам проводиться таким чином: до каналу синього кольору ЗК та стегоданих, представ-

^аannie2.71828@gmail.com

^бprogonov@gmail.com

лених у вигляді повнокольорових зображень, застосовується однорівневе ДДВП.

Дискретне вейвлет-перетворення – це процес розкладу дискретного сигналу $f(x)$ в заданому базисі функцій масштабування та деталізації:

$$f(x) = \sum_k c_{j_0}(k) \varphi_{j_0,k}(x) + \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k d_j(k) \psi_{j,k}(x),$$

де $\psi(x)$ – вейвлет-функція; $\varphi(x)$ – функція масштабування (скейлінг-функція); j_0 – початковий масштаб; $c_{j_0}(k)$ та $d_j(k)$ – апроксимуючі (масштабні коефіцієнти) та, відповідно, деталізуючі (вейвлет-коефіцієнти) коефіцієнти розкладу вхідного зображення [8].

Внаслідок ДДВП отримуємо зображення, яке складається з чотирьох піддіапазонів: високих (НН), середніх (ЛН, НЛ) та низьких (ЛЛ) частот (рис. 1). Стегодані вбудовуються у піддіапазон високих частот, оскільки в ньому зосереджені шуми, на рівні яких вбудовуються стегодані.

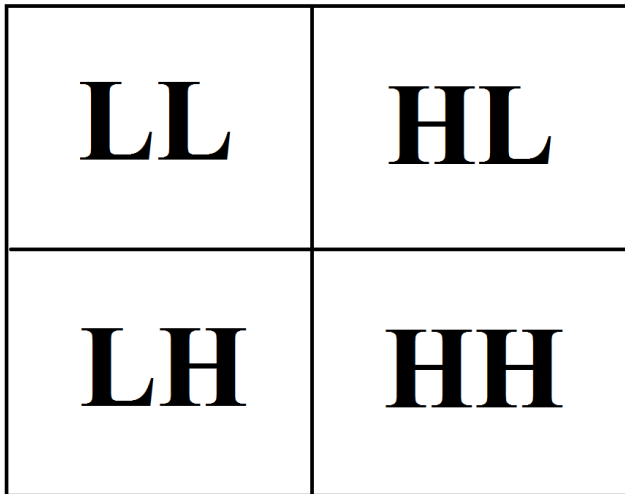


Рис. 1. Піддіапазони частот внаслідок двовимірного дискретного вейвлет перетворення

Далі вбудовування стегоданих в ЗК відбувається шляхом додавання коефіцієнтів розкладання ЗК F_{ψ}^I та стегоданих F_{ψ}^D з коефіцієнтом G [9]:

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

де F_{ψ}^D – коефіцієнти ДДВП стегограм. Параметр G визначає енергію ЦЗ, його мінімізація дозволяє зменшити спотворення ЗК при вбудовуванні стегоданих, але призводить до зниження стійкості отримуваних стегограм до методів активного стегоаналізу та навпаки.

3. Отримані результати

Дослідження проводилося з використанням стандартного тестового пакета MIRFlickr-25k [10], з якого псевдовипадковим чином обрано 1000 ЦЗ. Тестові зображення масштабовано до однакового розміру 640×480 пікселів. У якості стегоданих використано ЦЗ (креслення двигуна), розмірами 567×463 піксе-

ля. Ступінь заповнення ЗК стегоданими (відношення кількості змінених коефіцієнтів розкладання ДДВП до усіх коефіцієнтів розкладання) змінювався від 0% до 90% з кроком 10%. Значення параметра G змінювалося від 0,02 до 0,08 з кроком 0,02.

У роботі розроблено алгоритм оцінки параметрів стегограм, сформованих згідно методу Дея, з використанням ARMA-моделей цифрових зображень. Обробка ЦЗ згідно даного алгоритму проводиться в декілька етапів:

- 1) Стиснення ЦЗ до розміру 640×480 пікселів;
- 2) Формування стегограм;
- 3) Виділення синього каналу кольору;
- 4) Поділ зображень на частини 1×32 пікселя;
- 5) Застосування моделі ARMA з параметрами (1, 2) та (2, 1) для моделювання ЗК та стегограм по частинам (1×32) та їх подальше об'єднання у масиви з пікселями;
- 6) Щоб показати можливість використання моделі ARMA для виявлення стегограм у роботі визначено Δ , яка розраховується таким чином:

$$\Delta_i = Im_i^{real} - Im_i^{predicted},$$

де Im_i^{real} – i -тий піксель початкового зображення, $Im_i^{predicted}$ – i -тий піксель змодельованого зображення.

У якості прикладу на рис. 2 наведено отримані Δ у вигляді зображень у випадку 0%, 40% та 80% ступеня заповнення ЗК стегоданими та середній енергії прихованих повідомлень ($G = 0.06$). Чорний колір показує Δ , яка прямує до 0, а білий колір – Δ , яка прямує до 256.

На рис. 2вв та рис. 2г чітко прослідковується межа вбудовування стегоданих, а також видно, що чим більше ступінь заповнення контейнера, тим більше значення Δ , що свідчить про можливість застосування ARMA для виявлення стегограм.

Висновки

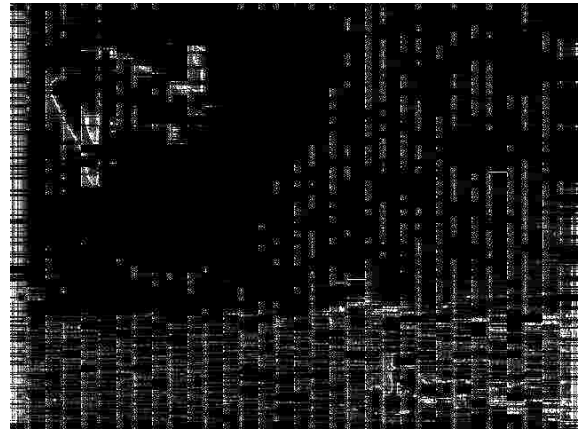
У роботі запропоновано алгоритм оцінки параметрів стегограм з даними, вбудованими в області перетворення зображення-контейнера. Розроблений алгоритм заснований на комплексному застосуванні методу вбудовування Дея та авторегресійної моделі з ковзним середнім. Експериментальні дослідження довели високу точність оцінки параметрів стегограм, зокрема ступеня заповнення ЗК стегоданими, при використанні запропонованого алгоритму.

Перелік використаних джерел

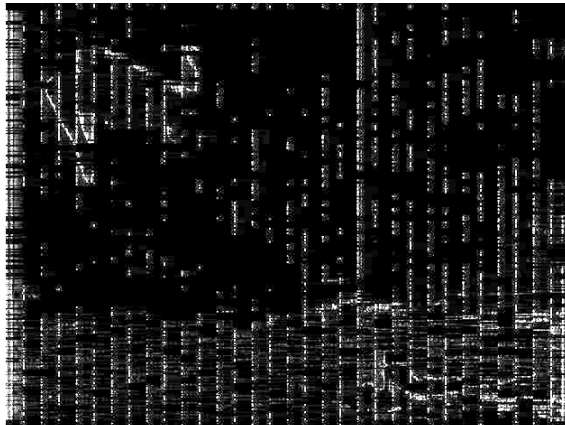
1. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. — К. : МК-Пресс., 2006. — С. 288.
2. Katzenbeisser Stefan. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking. — Artech House Print on Demand., 1999. — P. 220.
3. Черпахова К. В., Прогонов Д. О., Куц С. М. Активный стегоанализ повідомлень, прихованих



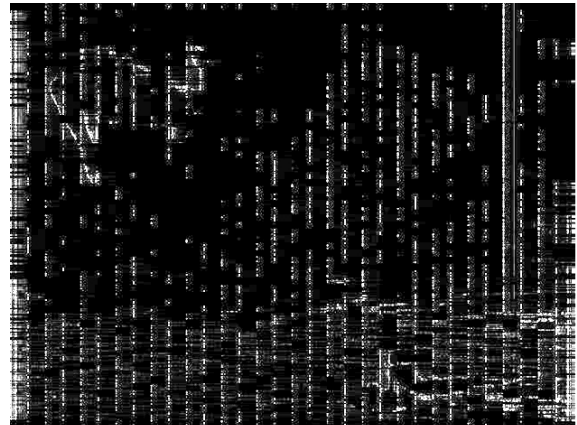
(а) Початкове зображення



(б) Δ для незаповненого контейнера



(в) Δ при ступені заповнення 40%



(г) Δ при ступені заповнення 80%

Рис. 2. Результати обробки зображень моделлю ARMA

у цифровому зображенні. // XII Всеукраїнська науково-практична конференція «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». — 2014. — С. 219–221.

4. Fridrich Jessica. Steganography in Digital Media. Principles, Algorithms and Applications. — Cambridge University Press., 2010. — P. 450.
5. Дорошенко А. В., Прогонов Д. О. Пасивний стеґоаналіз цифрових зображень з використанням моделей просторової кореляції. // XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах». — 2016. — С. 219–221.
6. Дорошенко А. В., Прогонов Д. О. Виявлення стеґанограм з використанням авторегресійних моделей зображення-контейнера. // Міжнародна науково-практична конференція «Обробка

сигналів і негаусівських процесів» — 2017 (ОСНП-2017). — 2017. — С. 219–221.

7. А Дуброва Т. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов. — Москва : ЮНИТИ-ДАНА., 2003. — С. 258 с.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М. : Техносфера, 2005. — С. 1072.
9. Dey Nilanjan, Roy Anamitra Bardhan, Dey Sayantan. A Novel Approach of Color Image Hiding using RGB Color planes and DWT. // International Journal of Computer Applications. — 2011. — Vol. 36, no. 5. — P. 19–24.
10. Huiskes M. J., S. Lew M. The MIR Flickr Retrieval Evaluation. // ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval (MIR'08). Vancouver, Canada. — 2008.