

ВИЯВЛЕННЯ СТЕГАНОГРАМ З ВИКОРИСТАННЯМ РІДЖЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Н. В. Остапук¹, Д. О. Прогонов¹

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

Анотація

Робота присвячена виявленню стеганогам за допомогою вейвлет- та ріджлет-перетворення. Результати оцінюються за значеннями перших чотирьох центральних моментів коефіцієнтів моделі SPAM, побудованій на коефіцієнтах вейвлет- та ріджлет-перетворення.

Ключові слова: стегоаналіз, ріджлет-перетворення, цифрове зображення

Вступ

Забезпечення надійного захисту конфіденційної інформації державних установ, приватних підприємств та міжнародних організацій є актуальною та важливою задачею сьогодні. Особливий інтерес становить розробка високоточних систем виявлення не-санкціонованої передачі інформації з обмеженим доступом, зокрема з використанням стеганографічних систем зв'язку. Поширеним методом, який використовують злоумисники для комунікації або прихованої передачі інформації з обмеженим доступом, є метод стеганографії. Даний метод часто застосовується саме до цифрових зображень у зв'язку з широким спектром різноманітних інструментів та способів їхньої обробки та великою кількістю даних, що можуть використовуватись у якості контейнера. Таким чином, важливою задачею є розробка точної системи виявлення прихованих повідомлень у цифрових зображеннях з ефективним використанням обмежених ресурсів власника інформації. У більшості випадків використання стеганографічних систем зв'язку невідомо, який метод вбудовування застосовується. У зв'язку з цим більшість методів стегоаналізу є неефективними. Тому становить інтерес розробка універсальних стегодетекторів. Дана робота присвячена аналізу ефективності використання спеціалізованих перетворень контейнеру, зокрема ріджлет-перетворення, для виявлення слабких змін характеристик контейнеру, обумовлених прихованими повідомленнями.

1. Моделі CC-PEV та SPAM

Для виявлення прихованого каналу передачі даних широко застосовуються статистичні моделі контейнеру, наприклад, моделі CC-PEV та SPAM для цифрових зображень [1]. Дані моделі можливо побудувати в області контейнеру, наприклад, SPAM для знаходження зміни залежності яскравості суміжних пікселів, або в області перетворення контей-

неру, зокрема CC-PEV для дослідження розподілу коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення. Модель CC-PEV (Cartesian Calibration Pevny feature set) базується на використанні коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення (DCT – Discrete Cosine Transform). Визначення параметрів даної моделі проводиться в декілька етапів. На першому етапі зображення розбивається на блоки розміром 8 на 8 пікселів. Після цього до блоків застосовується дискретне косинусне перетворення та знаходяться різниці між значеннями коефіцієнтів DCT в суміжних блоках розбиття зображення, які можливо представити як реалізацію марківського процесу [2]. З отриманих масивів знаходяться матриці ймовірностей переходу, до яких застосовується калібрування. Обмеженням даної моделі є можливість виявлення слабких змін контейнеру, представленого в JPEG-форматі. SPAM (Subtractive Pixel Adjacency Matrix) – модель контейнеру в просторовій області. Спершу обчислюються різниці вздовж восьми напрямків (горизонтальний, вертикальний та два діагональні, усі в обидві сторони). Наприклад, для горизонтального напрямку зліва направо:

$$\mathbf{D}_{i,j}^{\rightarrow} = I_{i,j} - I_{i,j+1}, \quad (1)$$

$i = \{1, \dots, m\}, j = \{1, \dots, n - 1\}$ де $m \times n$ – розмірність зображення-контейнера. Характеристики SPAM першого порядку моделюють марківський процес першого порядку для матриці різниць (1):

$$\mathbf{M}_{u,v}^{\rightarrow} = Pr\{\mathbf{D}_{i,j+1}^{\rightarrow} = u | \mathbf{D}_{i,j}^{\rightarrow} = v\}, \quad (2)$$

де $u, v \in \{-T, T\}$, T – кількість різниць. Характеристики SPAM другого порядку моделюють марківський процес другого порядку для матриці різниць (1):

$$\mathbf{M}_{u,v,w}^{\rightarrow} = Pr\{\mathbf{D}_{i,j+2}^{\rightarrow} = u | \mathbf{D}_{i,j+1}^{\rightarrow} = v, \mathbf{D}_{i,j}^{\rightarrow} = w\}, \quad (3)$$

де $u, v, w \in \{-T, T\}$. Щоб зменшити розмірність набору характеристик, робиться припущення, що статистичні дані в природних зображеннях симетричні

відносно віддзеркалення, і характеристики усереднюються:

$$\mathbf{F}_{1,\dots,k} = \frac{1}{4}[\mathbf{M}^{\rightarrow} + \mathbf{M}^{\leftarrow} + \mathbf{M}^{\uparrow} + \mathbf{M}^{\downarrow}] \quad (4)$$

$$\mathbf{F}_{k+1,\dots,2k} = \frac{1}{4}[\mathbf{M}^{\nearrow} + \mathbf{M}^{\nwarrow} + \mathbf{M}^{\searrow} + \mathbf{M}^{\swarrow}], \quad (5)$$

де $k = (2T + 1)^3, T = 3$. Всього отримано 686 характеристик. Використання марківських процесів дозволяє знаходити приховані повідомлення за рахунок того, що вбудовування стегоданих порушує складні залежності між пікселями, створені багатьма чинниками в процесі отримання зображень [3]. Проте багато сучасних алгоритмів вбудовування стегоданих адаптовані для мінімізації змін контейнеру в просторовій області, таких як HUGO – Highly Undetectable SteGO [4], WOW – Wavelet Obtained Weights [5], що обмежує використання моделі SPAM. Для подолання даного недоліку у роботі пропонується використання моделі SPAM в області вейвлет-та ріджлет-перетворень.

2. Ріджлет-перетворення

Одна з головних ідей вейвлет-представлення сигналів на різних рівнях декомпозиції полягає у використанні двох неперервних, взаємозалежних інтегровних функцій [6]:

- вейвлет-функції $\psi(t)$ – з локальною та швидкою динамікою змін на тлі плавної динаміки;
- скейлінг-функції $\varphi(t)$ – з досить повільною часовою динамікою змін.

Для перекриття локальною функцією вейвлета всієї часової осі використовується операція зсуву ($\psi(t) \Rightarrow \psi(t + k)$), а для перекриття всієї частотної осі – операція часового масштабування вейвлета ($\psi(t) \Rightarrow \psi(a^m t), a = \text{const}, m = 0, 1, \dots, M$). Структура базисної функції вейвлет-перетворення, зведеної до одиничної норми ($\|\psi(t)\| = 1$) має вигляд:

$$\psi_{mk}(t) = a^{m/2} \psi(a^m t + k) \quad (6)$$

Сигнал $s(t)$ можна представити у вигляді:

$$s(t) = \sum_{m,k=-\infty}^{\infty} S_{mk} \psi_{mk}(t), \quad (7)$$

де коефіцієнти розкладу – це проекції сигналу на ортогональний базис, що обчислюються за допомогою скалярного добутку:

$$S_{mk} = \langle s(t), \varphi_{mk}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi_{mk}(t) dt. \quad (8)$$

Ріджлет-перетворення (Ridgelet Transform) відноситься до класу кратномасштабних орієнтаційно-селективних перетворень [7]. Двовимірне неперервне ріджлет-перетворення двовимірної функції $f(\mathbf{x})$ в $\mathbb{R}^2$ має вигляд:

$$\mathcal{R}_f(a, b, \theta) = \langle f, \psi_{a,b,\theta} \rangle = \int_{\mathbb{R}^2} f(\mathbf{x}) \overline{\psi_{a,b,\theta}(\mathbf{x})} d\mathbf{x}. \quad (9)$$

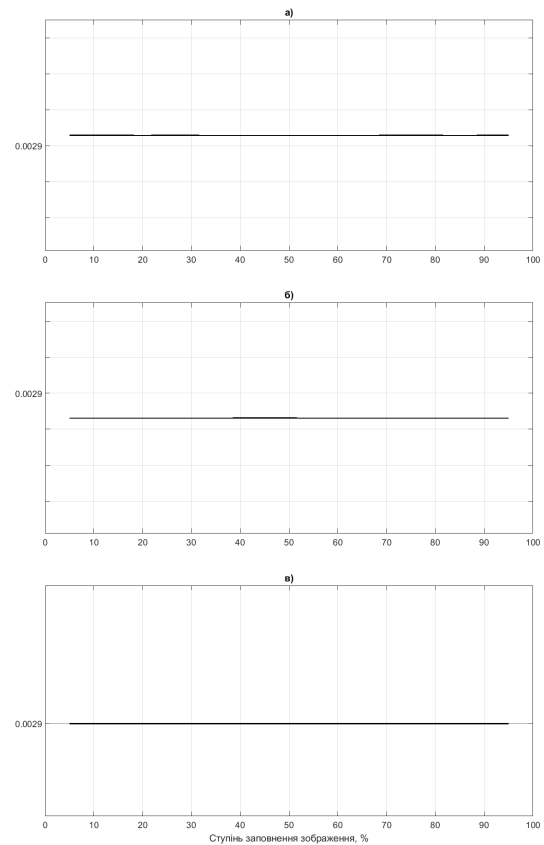


Рис. 1. Залежність математичного очікування коефіцієнтів моделі SPAM від ступеня заповнення зображення: (а) – для вейвлета Добеші другого порядку; (б) – для вейвлета Хаара; (в) – для ріджлету

де функція $\psi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ гладка та одновимірна, що задовольняє умові допустимості [8]:

$$\int \frac{|\hat{\psi}(\mathbf{v})|^2}{|\mathbf{v}|^2} d\mathbf{v} < \infty, \quad (10)$$

яка виконується при $\int \psi(t) dt = 0$. Для кожного масштабу $a > 0$ та зсуву $b \in \mathbb{R}$ і напрямку $\theta \in [0, 2\pi)$ визначається двовимірний ріджлет $\psi_{a,b,\theta} : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$:

$$\psi_{a,b,\theta}(\mathbf{x}) = a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{x_1 \cos \theta + x_2 \sin \theta - b}{a}\right). \quad (11)$$

Основною перевагою використання ріджлет-перетворення є локалізація у просторовій та спектральній областях та можливість виявлення особливостей сигналу залежно від напрямку обробки. Недоліком ріджлет-перетворення є його надлишковість.

3. Отримані результати

Для дослідження було використано пакет зображень MIRFLICKR-1M [9], з якого було вибрано 1000 зображень у відтинках сірого розміром 512 на 512 пікселів. У даній роботі розглядається вейвлет-перетворення з використанням вейвлета Хаара та вейвлета Добеші другого порядку, а також ріджлет-перетворення (9). Отримані коефіцієнти вейвлет- та ріджлет-перетворень квантуються з використанням рівномірного квантувача. До різниці коефіцієнтів

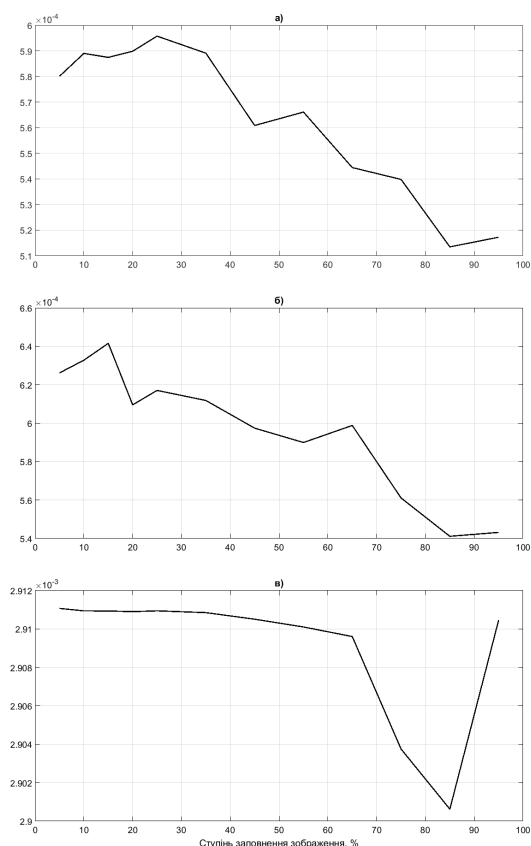


Рис. 2. Залежність дисперсії коефіцієнтів моделі SPAM від ступеня заповнення зображення: (а) – для вейвлету Добеші другого порядку; (б) – для вейвлету Хаара; (в) – для ріджлету

стеганограми та контейнера застосовується модель SPAM. Отримані залежності центральних моментів коефіцієнтів SPAM-моделі від ступеня заповнення зображення для вейвлет- та ріджлет-перетворення наведені на рис.1 та рис.2. Математичне очікування коефіцієнтів моделі SPAM є однаковим для всіх видів перетворення і практично не залежить від ступеня заповнення зображення (рис.1). Дисперсія коефіцієнтів моделі SPAM має чітку залежність від ступеня заповнення зображення: зі збільшенням ступеня заповнення дисперсія зменшується, проте для ріджлетів є яскраво виражений мінімум для високих значень ступеня заповнення, а для менших значень ступеня заповнення дисперсія практично незмінна і має велике значення, що дозволяє ефективно виявляти стеганограми з малим ступенем заповнення (рис.2). Для коефіцієнтів асиметрії та ексцесу коефіцієнтів моделі SPAM отримані залежності мають такий же вигляд, як і залежність дисперсії.

Висновки

За результатами проведеного аналізу виявлено, що у випадку застосування ріджлетів параметри їхнього

розподілу практично не залежать від ступеня заповнення. Однією з проблем побудови моделей контейнерів в стегоаналізі є залежність всіх параметрів моделі від використовуваного методу вбудовування та ступеня заповнення. Це ускладнює виявлення, оскільки необхідно відстежувати зміни всіх параметрів. У випадку ріджлетів можливе застосування простих порогових методів обробки тільки окремих характеристик (наприклад, дисперсії). Недоліком використання ріджлет-перетворення у порівнянні з вейвлет-перетворенням є більший час аналізу.

Перелік використаних джерел

1. Pal Sankar Kumar, et al. Signal Processing and Multimedia // MulGraB. — 2010.
2. Pevny T., Fridrich J. Merging Markov and DCT features for multiclass JPEG steganalysis // In E. J. Delp and P. W. Wong, editors, Proceedings SPIE, Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX. — 2007. — Vol. 6505. — P. 1–14.
3. Pevny T., Bas P., Fridrich J. Steganalysis by Subtractive Pixel Adjacency Matrix IEEE Trans. on Info. Forensics and Security // Proceedings SPIE, Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX. — 2010. — Vol. 5(2). — P. 215–224.
4. Barni M., Bartolini F. Watermarking systems engineering: enabling digital assets security and other applications. — Signal processing and communications, 2004.
5. Filler T., Fridrich J. Design of adaptive steganographic schemes for digital images // In Proc. SPIE, Elec. Img., Media Watermarking, Sec. and Forensics of Multimedia XIII. — 2011. — Vol. 7880. — P. 1–14.
6. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения. — Успехи физических наук, 1996. — С. 1145–1170.
7. Fadili M.J., Starck J.-L. Curvelets and Ridgelets. — 2007.
8. Mallat Stephane. A Wavelet Tour of Signal Processing The Sparse Way. — 3 edition. — 2008.
9. Huiskes M. J., Thomee B., Lew M. S. New Trends and Ideas in Visual Concept Detection // ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval (MIR'10), Philadelphia, USA (bib). — 2010.