

# ДЕСТРУКЦІЯ СТЕГАНОГРАМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ

В. О. Богайчук<sup>1, а</sup>, Д. О. Прогонов<sup>1, б</sup>

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

## Анотація

Робота присвячена порівнянню ефективності деструкції стеганограм за допомогою медіанної фільтрації (МФ) та стисненню з втратами при використанні методу головних компонент (**principal component analysis - PCA**). Показано, що метод головних компонент дозволяє ефективніше знищувати вбудовані стегодані при збереженні цілісності вихідного зображення-контейнеру.

*Ключові слова:* активний стегоаналіз, компонентний аналіз, медіанна фільтрація

## Вступ

Поширення глобального та швидкісного доступу до мережі Інтернет, поява соціальних мереж, що націлені на масовий обмін фотографіями та світова глобалізація значно спрощують умови для створення прихованих каналів зв'язку між злоумисниками. В якості файлів-контейнерів широко використовуються мультимедійні дані, а саме цифрові зображення (ЦЗ). Сучасні методи стеганоаналізу не дозволяють надійно виявляти стеганограми, сформовані згідно новітніх адаптивних стеганографічних методів [1]. Тому становить інтерес застосування методів активного стеганоаналізу (АС) в якості запобіжного заходу.

В роботах [2, 3] було показано обмеження застосування методів стандартних методів обробки зображень для деструкції стеганограм з даними, вбудованими в просторовій області та області перетворень контейнеру. Також обмеженням даних методів є внесення суттєвих спотворень в зображення-контейнер, що демаскує використання методів АС. Тому залишається відкритим та актуальним задача пошуку методів обробки ЦЗ, що дозволить гарантовано знищувати приховану інформацію з мінімальними змінами зображення-контейнеру.

В роботі розглянуто використання методів сліпої реконструкції контейнеру з використанням PCA.

## 1. Метод головних компонент

Метод головних компонент – статистичний підхід, який вперше був запропонований Карлом Пірсоном 1901 року [4]. Цей метод використовує ортогональне перетворення до набору вхідних даних, які потенційно можуть бути надлишковими і залежати один від одного. Перетворення задане таким чином, що

всі головні компоненти (**principal component - PC**) відсортовані за спаданням дисперсії, тобто перші компоненти зберігають найбільше інформації про вхідні дані та ортогональні між собою. Даний метод знайшов застосування у багатьох областях, зокрема як метод стиснення даних з втратами доведено більшу ефективність у порівнянні з Дискретним косинусним перетворенням (ДКП) та навіть Двовимірним дискретним вейвлет-перетворенням (ДДВП) [5], проте недоліком практичного застосування є вища складність обчислення.

Відмінною рисою PCA є те, що його можна пов'язати з іншим способом факторизації матриць - сингулярним розкладом (**singular value decomposition - SVD**) (1).

$$\mathbf{X}^T = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{W}^T, \quad (1)$$

де  $\mathbf{X}$  – матриця вхідних даних;  $\mathbf{\Sigma}$  –  $n \times p$  прямокутна матриця додатніх значень  $\sigma_k$  – сингулярні значення  $\mathbf{X}$ ;  $\mathbf{U}$  –  $n \times n$  матриця стовпчики якої є ортогональними одиничними векторами довжини  $n$  – сингулярні вектори  $\mathbf{X}$ ;  $\mathbf{W}$  –  $p \times p$  матриця з правими сингулярними векторами  $\mathbf{X}$ . Можна записати матрицю  $T$  таку, що (2):

$$\mathbf{T} = \mathbf{X}\mathbf{W} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{W}^T\mathbf{W} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma} \quad (2)$$

Видно, що кожен стовпчик  $\mathbf{T}$  задано як лівий сингулярний вектор помножений на відповідне сингулярне значення  $\mathbf{X}$ . Отже, урізана матриця  $\mathbf{T}_L$  розміром  $n \times L$  може бути отримана шляхом використання лише перших  $L$  найбільших сингулярних значень та відповідних векторів (3). Обрізання матриці  $\mathbf{T}$  таким чином дає найближчу можливу матрицю рангу  $L$  до оригінальної матриці у сенсі мінімальної норми Фробеніуса.

$$\mathbf{T}_L = \mathbf{U}_L\mathbf{\Sigma}_L = \mathbf{X}\mathbf{W}_L \quad (3)$$

<sup>а</sup>bohaichuk.v@gmail.com

<sup>б</sup>progonov@gmail.com

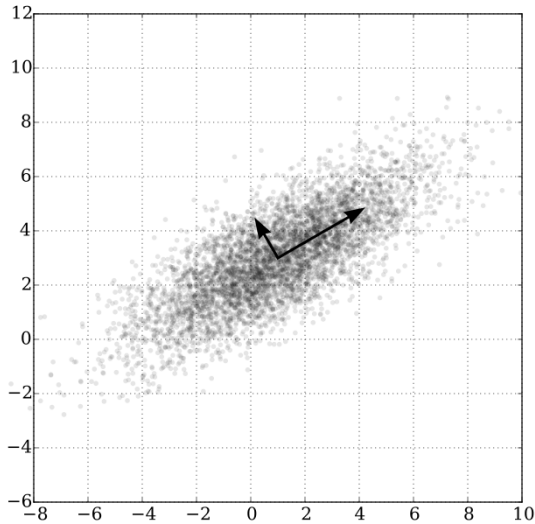


Рис. 1. Перетворення осей за допомогою PCA

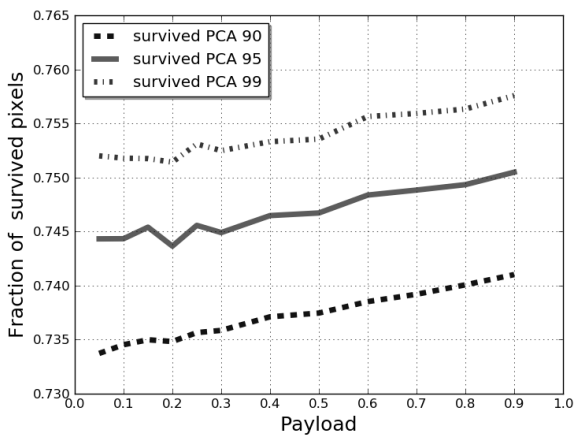


Рис. 2. Частка стегоданих, що залишилися незмінними після стиснення з втратами PCA в залежності від відсотку компонент, що використано для відновлення зображення

## 2. Медіанна фільтрація

Один з видів цифрових фільтрів, широко використовуваний в цифровій обробці сигналів та зображень для зменшення рівня шуму. Значення відліків усередині вікна фільтра сортуються в порядку зростання (спадання); і значення, що знаходиться в середині упорядкованого списку, надходить на вихід фільтра. У разі парного числа відліків у вікні вихідне значення фільтра дорівнює середньому значенню двох відліків в середині упорядкованого списку. Вікно переміщується уздовж сигналу, що фільтрується, і обчислення повторюються. Медіанна фільтрація - ефективна процедура обробки сигналів, що піддаються впливу імпульсних перешкод [6].

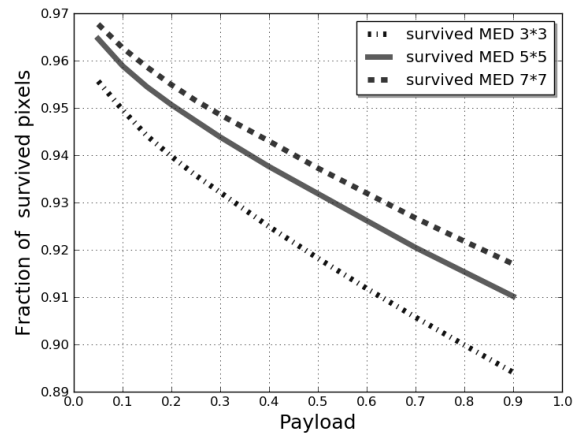


Рис. 3. Частка стегоданих, що залишилися незмінними після медіанної фільтрації в залежності від розміру вікна

## 3. Сучасні методи приховання повідомлень у цифрові зображення

Особливістю сучасних методів приховання повідомлень у ЦЗ є використання адаптивних алгоритмів, що дозволяють мінімізувати зміни характеристик зображення-контейнеру (ЗК) при формуванні стегоаногам. Одним з найпоширеніших адаптивних стегоалгоритмів є сімейство методів UNIWARD [7]. Особливістю даних методів є застосування функції оцінки спотворення ЦЗ (4), яка є сумою відповідних змін між стегоанограмою та ЗК у вейлет-області.

$$D(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \triangleq \sum_{k=1}^3 \sum_{u=1}^{n_1} \sum_{v=1}^{n_2} \frac{|W_{uv}^{(k)}(\mathbf{X}) - W_{uv}^{(k)}(\mathbf{Y})|}{\sigma + |W_{uv}^{(k)}(\mathbf{X})|}, \quad (4)$$

де  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Y}$  – відповідно, вихідне (незаповнене) ЗК та стегоанограма розмірами  $n_1 * n_2$  пікселів;  $\sigma$  – константа, що використовується для стабілізації розрахунків;  $W_{uv}^{(k)}(\mathbf{X})$ ,  $W_{uv}^{(k)}(\mathbf{Y})$  – деталізуючі коефіцієнти ДДВП вихідного ЗК та стегоанограми. Показано [7], що вейлети типу Добеші-8 показують найбільшу ефективність при вбудовуванні даних в ЗК.

## 4. Вихідні дані

Дослідження проводилося з використанням стандартного пакету цифрових зображень MIRflickr-1M. На його основі було сформовано тестовий пакет з 1200 зображень (по 100 зображень для кожного ступеню заповнення ЗК стегоданими). Ступінь заповнення ЗК стегоданими змінювався від 5 до 30% з кроком 5% та від 30 до 90% з кроком 10%.

Для оцінки ефективності роботи методів деструкції використано метрику оцінки кількості пікселів стегоанограми, що залишилися незмінними після проведення фільтрації чи стиснення стегоаноконтейнеру(5).

$$\frac{|(C - S) \& (C - S^*)|}{|(C - S)|}, \quad (5)$$

де – вихідне ЗК,  $S$  – ЗК з вбудованими стегоданими,  $S^*$  – стегано-контейнер після проведення деструкції, & – побітове додавання. Для оцінки ступеня зміни вихідного ЗК використано стандартні метрики оцінки якості зображення: Mean-Squared Error (MSE), Image Fidelity (IF), Normalized Cross-Correlation (NCC), Czenakowski Distance (CD), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structure Similarity (SSIM). Розмір вікна МФ використано 3\*3, 5\*5, 7\*7. При проведенні стиснення з втратами PCA відсоток головних компонент, що використано для реконструкції зображення прийнято 90, 95, 99.

## 5. Отримані результати

Для проведення розрахунків було підготовлено програмні модулі мовою програмування Python. За результатами обчислень побудовано графіки залежності частки стегоданих, що залишилися незмінними після проведення стиснення з втратами PCA 2 та медіанної фільтрації 3 від ступеню заповнення ЗК стегоданими. З графіків добре видно, що найгірший випадок стиснення з втратами PCA при якому для реконструкції використовується 99 відсотків головних компонент на 18 відсотків краще за найкращий метод медіанної фільтрації з вікном 3\*3 при ступені заповнення ЗК стегоданими 0.05 та на 14 відсотків при ступені заповнення 90 відсотків.

Також характерною різницею методів є обернена пропорційність між ступенем заповнення та часткою пікселів, що вижили після медіанної фільтрації та пряма пропорційність при використанні PCA.

Метрики якості зображення в залежності від ступеню заповнення ЗК стегоданими змінювалися не суттєво та залежать тільки від вікна медіанної фільтрації та частки PC, що використано для відновлення зображення.

## Висновки

За результатами обробки отриманих даних були виявлені переваги використання методу головних компонент у порівнянні зі стандартними методами обробки ЦЗ. Вбудовування стегоданих відбувалось в область перетворення зображення-контейнеру, а

саме при використанні коефіцієнтів ДДВП. У випадку слабого заповнення ЗК стегоданими перевага використання PCA складає від 21.5 до 23.5 відсотків, при високих ступенях заповнення від 14 до 21.5 відсотків.

## Перелік використаних джерел

1. Прогонов Д. О., Богайчук В. О., Є.М. Терещенко. Ефективність універсальних стегодетекторів у випадку використання адаптивних методів формування стеганограм // Праці VI Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів». — 2017. — С. 232–234.
2. Яцура П. П., Прогонов Д. О. Ефективність використання спеціалізованих методів обробки цифрових зображень для деструкції стеганограм // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». — 2017. — С. 150–152.
3. Черпахова К. В., Прогонов Д. О. Вейвлет-стиснення стеганограм // XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. — 2016. — С. 173–175.
4. F.R.S. Karl Pearso. LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. — 1901. — Vol. 2, no. 11. — P. 559–572. — Access mode: <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>.
5. Muresan D.D., Parks T.W. Adaptive principal components and image denoising // IEEE International Conference on Image Processing. — 2003. — 10. — Vol. 1. — P. I – 101.
6. Грузман И. С., Киричук В. С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах. — Новосибирск : НГТУ, 2002.
7. Holub V., Fridrich J., Denemark T. Universal distortion function for steganography in an arbitrary domain // EURASIP Journal on Information Security. — 2014. — Vol. 1, no. 1. — P. 1–13.