

*Якименко Є.В., Борисенко І.І.*

*Національний університет «Одеська політехніка»*

## МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ ЗБУРЕНЬ КОНТЕЙНЕРА НА ОСНОВІ ПОДВІЙНОГО АНАЛІЗУ

**Вступ.** На сьогодні, з метою забезпечення конфіденційності передавання даних, для приховування інформації, використовують системи цифрової стеганографії. Однією з основних вимог до цих систем – непомітність змін, які під час вбудовування повідомлення вносяться до контейнера.

Так звані збурення – це зміни структури контейнера. Вони призводять до спотворення його статистичних, візуальних характеристик, і чим більші спотворення, тим легше виявити наявність прихованої інформації методами стегоаналізу.

Мінімізація збурень контейнера – один з головних напрямів сучасних досліджень, оскільки стійкість і ефективність алгоритмів стеганографії визначає саме цей фактор.

Проблема полягає в тому, що більша частина відомих підходів аналізує тільки контейнер. Структура самих даних, що вбудовуються, не враховується. У результаті навіть незначні зміни можуть накопичуватися, створюючи помітні спотворення.

**Мета:** Розробка методу мінімізації збурень контейнера під час стеганографічного перетворення шляхом одночасного аналізу характеристик контейнера і структури даних, які вбудовуються, для підвищення рівня непомітності та збереження якості цифрового зображення.

### Основна частина.

За основу роботи взято метод [1], в якому оцінюється збурення контейнера-зображення шляхом аналізу сингулярних чисел його матриці під час стеганографічного перетворення. Запропонований метод мінімізації збурень є його розвитком, що передбачає подвійний аналіз як самого контейнера, так і даних, які вбудовуються. Такий метод дозволяє виконувати адаптивне вписування інформації з мінімальним впливом на структуру контейнера.

В роботі [2] визначаються елементи контейнера, зміна яких впливає найменше на візуальну якість зображення. Для цього формується карта вартості зміни:

$$W = [w_{ij}], \quad (1)$$

де кожен елемент оцінює «ціну» зміни відповідного пікселя. Обчислюється вартість за модифікованою формулою:

$$w_{ij} = \alpha \cdot |m_{ij}| + \beta \cdot \Phi_{psy}(i, j) + \gamma \cdot \Phi_{tex}(i, j), \quad (2)$$

де  $m_{ij}$  – сингулярні коефіцієнти з SVD-контейнера,

$\Phi_{psy}(i, j)$  – психовізуальний коефіцієнт,

$\Phi_{tex}(i, j)$  – коефіцієнт текстурності,

$\alpha, \beta, \gamma$  – вагові коефіцієнти.

Мінімальні значення  $w_{ij}$  відповідають ділянкам, куди бажано виконувати

вписування повідомлення.

Паралельно для даних (повідомлення), що підлягають вбудовуванню, виконується попередній структурний аналіз.

Так для текстового повідомлення застосовується кодовий або частотний аналіз, який допомагає визначити найбільш повторювальні символи та оптимізувати їх розміщення у контейнері.

Частотний аналіз підраховує кількість появи однакових символів і типові бітові комбінації повідомлення; елементи, що з'являються найчастіше першими зіставляються з позиціями контейнера, де очікується мінімальна зміна, що зменшує кількість відкорегованих бітів.

Кодовий аналіз [3] враховує обраний спосіб кодування: оцінюються довжини та шаблони бітів, після чого порядок вписування підлаштовується під розподіл молодших бітів у контейнері.

Якщо повідомлення є зображенням або бінарним файлом, то використовується ентропійний або сингулярно-спектральний аналіз, принцип якого узгоджується з методом [1], але в даному випадку застосовується не лише для оцінки контейнера, а й для дослідження структури самого повідомлення.

Ентропійний аналіз [4] оцінює локальну складність (ентропію/дисперсію) блоків, оскільки у високотекстурних ділянках зображення зміни яскравостей пікселей менш помітні, тому саме у цих пікселей більший пріоритет для вписування. Цей підхід допомагає оцінити спектральну схожість об'єктів, мінімізувати різницю їхніх енергетичних характеристик.

На базі отриманих параметрів формується матриця схожості між бітами повідомлення й потенційними позиціями контейнера. Це забезпечує добір тих ділянок, де максимально узгоджуються локальні властивості обох об'єктів: даних та контейнера.

Після подвійного аналізу виконується процедура адаптивного вписування, яка проходить у три етапи.

На першому етапі біти повідомлення, що вже збігаються з бітами контейнера, вважаються вписаними, тобто без будь яких модифікацій матриці контейнера.

На другому – для часткових збігів, де різниця становить 1, змінюються лише елементи з мінімальними значеннями  $w_{ij}$ . Тобто корекція торкається тільки найменш «чутливих» елементів контейнера, що суттєво знижує середнє збурення.

На третьому – залишкові біти розміщують за класичними правилами, але враховується вагова карта, тобто відбувається компенсуюче вписування. Після кожної зміни елемента оцінюється величина локального спотворення, і корекція припиняється, якщо досягнуто допустимий поріг  $D_{max}$ .

На кожному етапі процес вписування адаптується до локальних характеристик контейнера, що забезпечує плавне розподілення змін та мінімальний рівень помітності.

Загальне збурення контейнера оцінюється функцією [3]:

$$D = \sum_{ij} w_{ij} \cdot |c'_{ij} - c_{ij}|, \quad (3)$$

де  $c_{ij}$  – початкові значення елементів контейнера,

а  $c'_{ij}$  – модифіковані після вписування.

Метою є мінімізація  $D$  при збереженні повноти і цілісності переданого повідомлення.

Для оцінки ефективності запропонованого методу проведено модельне порівняння з відомими алгоритмами LSB, LSB Matching та GRAPH\_Matching. Порівняння проводилося за показниками середнього збурення  $D$ , а також за метриками якості PSNR і SSIM (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Отримані експериментальні дані

Метод	Середнє збурення $D$	PSNR, дБ	SSIM
LSB	2.1358	40.12	0.926
LSB Matching	1.8325	41.80	0.951
GRAPH_Matching [5]	1.6010	42.37	0.961
Адаптивний (запропонований метод)	1.0765	43.21	0.972

Експериментальні результати показали, що використання подвійного аналізу допомагає зменшити середнє збурення в 1,5–2 рази порівняно з класичним LSB-методом. При цьому показник PSNR підвищується в середньому на 2–4 дБ, а SSIM наближається до 1, що підтверджує високу непомітність і якість отриманого стеганоконтейнера.

**Висновок.** Розроблено метод мінімізації збурень контейнера під час стеганографічного перетворення, що ґрунтується на подвійному аналізі: даних і контейнера. Запропонований підхід поєднує сингулярно-спектральну оцінку чутливості контейнера з аналізом структури повідомлення, дозволяючи адаптивно підбирати області вписування та мінімізувати сумарне спотворення. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення існуючих стеганографічних систем і створення нових методів приховування даних з підвищеною непомітністю та стійкістю.

#### **Перелік використаних джерел.**

1. Борисенко И. И. Оценка возмущения контейнера при его стеганопреобразовании // Високі технології в машинобудуванні, 2015, випуск 1 (25). С.127-132.
2. Pitas I. Digital Image Processing Algorithms. – New York: John Wiley & Sons, 1993. – 432 p.
3. Fridrich J. Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 336 p.
4. Sparavigna A.C. Entropy in Image Analysis II. – Basel : MDPI, 2023. – 356 p.
5. Борисенко І.І. Застосування теорії графів в задачах створення стеганографічних повідомлень / І.І. Борисенко // Сучасна спеціальна техніка. – 2015. – №2. С. 26-33.