

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ СПОТВОРЕНЬ ВЕКТОРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВНАСЛІДОК ВБУДОВУВАННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Аналіз існуючих методів вбудовування цифрових водяних знаків (ЦВЗ) показує, що для більшості з них, актуальною є проблема погіршення якості зображення в яке вбудовується ЦВЗ. При відображенні реальних об'єктів в масштабі (архітектурних споруд, географічних карт тощо), ця проблема є особливо актуальною, адже значна зміна координат точок може суттєво погіршити якість інформації про існуючі об'єкти чи вплинути на їх створення. Виходячи з цього в роботі проаналізовані переваги та недоліки існуючих методів вбудовування ЦВЗ в векторні зображення та оптимізується один з відомих методів за рахунок зменшення спотворення зображення-контейнера.

Ключові слова: цифрові водяні знаки, зображення-контейнер, якість зображення, векторні зображення.

Abstract

An analysis of the existing methods for embedding digital watermarks (CECs) shows that for most of them, the problem of impairment of image quality in the embedded CMS is actualy. When displaying real objects on a scale (architectural structures, geographic maps, etc.), this problem is especially relevant, since a significant change in the coordinates of the points can significantly impair the quality of information about existing objects or affect their creation. On this basis, the advantages and disadvantages of existing methods of embedding the CMS in vector images are analyzed, and one of the known methods is optimized by reducing the image-container distortion.

Keywords: digital watermarks, container image, image quality, vector images.

Вступ

Проведений аналіз показав, що для захисту авторського права векторних зображень перспективними є методи, які не потребують для витягування ЦВЗ оригіналу зображення чи самого ЦВЗ, і при цьому аналіз показав, що ті методи, які використовують математичні перетворення, мають більші можливості при вбудовуванні ЦВЗ у векторні зображення щодо зменшення рівня спотворень і вирішення поставленої задачі [1, 2].

В роботі наведені такі основні перетворення, серед яких найбільшого використання отримали частотні. Частотні перетворення дозволяють виділяти в зображенні значущі та менш значущі компоненти, в які можна вбудовувати біти ЦВЗ без значного погіршення якості зображення. При використанні частотних перетворень для векторних зображень, що є набором координат точок, зображення представляються у вигляді коефіцієнтів, що відображають значення частоти зустрічаємості цих координат. В цьому випадку біти ЦВЗ вбудовуються шляхом зміни значень коефіцієнтів, після чого зображення перетворюється у векторний формат. Зміна коефіцієнтів призводить до різного впливу на значення координат точок. Крім того, зміна одного коефіцієнта може впливати на розміщення цілої групи точок, що дозволяє розподілити спотворення на всі точки. Також вбудовування бітів ЦВЗ у область частотного перетворення дозволяє підвищити стійкість векторних зображень до деяких типів зловмисних атак, наприклад, до внесення шуму. Виникає задача вибору певного частотного перетворення для методу відкритої стеганосистеми вбудовування ЦВЗ у векторні зображення. До основних частотних перетворень, на яких базуються існуючі методи, що вбудовують ЦВЗ в область перетворення, відносяться: дискретне перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення, перетворення Лапласа, дискретне косинус-перетворення.

Основна ідея методів, що базуються на частотних перетвореннях, полягає у використанні факту високої кореляції між сусідніми точками в межах полігонів чи поліліній, які формують векторне зображення. У цьому зв'язку ДКП показує високу ефективність в ущільненні енергії висококорельованих даних. В результаті ДКП просторовий сигнал перетворюється в постійну складову (DC-коефіцієнт), що представляє середнє зважене значення сигналу і змінні компоненти (AC-

коефіцієнти), які представляють гармоніки сигналу. Для високочастотних даних, чим вища частота, тим менша амплітуда коефіцієнта в плані статистичної характеристики. Зміна одного з високочастотних коефіцієнтів вплине на усі точки вибраного блоку, що дозволить в деякій мірі зберегти кореляцію між ними. ДКП також дає додаткову перевагу щодо можливості аналізу блоків зображення на придатність до вбудовування з точки зору мінімального впливу на значення координат точок зображення. Виходячи з цього, оберемо ДКП як базове перетворення для вирішення поставленої задачі – зменшення впливу вбудованого ЦВЗ на якість зображення.

Метою роботи є вдосконалення стеганографічного методу вбудовування ЦВЗ в векторні зображення, за рахунок збільшення кількості коефіцієнтів дискретно-косинусного перетворення.

Результати дослідження

У роботі [3] запропоновано метод вбудовування ЦВЗ у двовимірні векторні карти на базі одновимірного ДКП і дозволяє витягувати ЦВЗ без додаткової інформації.

Згідно з методом векторне зображення перетворюється в частотний вигляд за допомогою одновимірного ДКП, яке може бути представлене в такому вигляді:

$$F(u) = \frac{c(u)}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} C(x) \cos \left[\frac{\pi \cdot v \cdot (2x+1)}{2N} \right]; \quad (1)$$

в результаті чого отримують матриці 8x8 коефіцієнтів ДКП, які часто позначають $F(v)$, а $C(v)$ – позиція коефіцієнта в цьому блоці.

Кожен блок при цьому призначений для приховування одного біта даних [4]. Для проведення ДКП масив координат точок розбивається на одновимірні масиви по 8 елементів. При одновимірному ДКП зміна одного коефіцієнта впливає на всі коефіцієнти та розподіляється на всі 8 значень координат точок. Для зменшення сумарної похибки відхилення координат точок від оригіналу можна використати перетворення для більших масивів точок. Тоді результатом буде зміна більшої кількості змінених значень координат, проте з меншими відхиленнями відносно оригіналу, що приведе до менших спотворень зображення.

Особливістю одновимірного ДКП є те, що базисом для нього є 8 векторів, кожен з яких формується із 8 значень функції косинуса. Виходячи з цього, збільшення кількості точок будемо розглядати не для одновимірного ДКП, а для ДКП іншого виміру.

В зв'язку з цим пропонуємо використання двовимірного ДКП для забезпечення меншого впливу ЦВЗ на якість зображення. ДКП візьмемо розміром 8×8 . Двовимірне ДКП для матриці розміром 8×8 , по суті, являє собою 8 одновимірних ДКП, які проводяться спочатку для рядків матриць, а потім для її стовпців. При використанні двовимірного ДКП зміна коефіцієнта розподіляється на 64 елементи, а не на 8, як при одновимірному, що забезпечить менший вплив вбудованого ЦВЗ на значення координат точок, а відповідно і на якість зображення.

Аналіз методу [6-7] показує, що на якість зображення при вбудовуванні ЦВЗ також впливає і те, яким чином змінюються коефіцієнти ДКП.

При цьому виникає проблема того, що можливі випадки, коли зміна коефіцієнта таким чином може призвести до суттєвих змін координат точок. Суть проблеми полягає в тому, що більшість реальних зображень характеризуються більшими значеннями низькочастотних (НЧ) та середньочастотних (СЧ) коефіцієнтів, ніж високочастотних (ВЧ). Тому можливі випадки, коли цей коефіцієнт буде збільшений на значення, більше за власне. Це, в свою чергу, приведе до значного погіршення якості векторного зображення, що недопустимо для деяких видів карт.

Враховуючи це, зміну значень необхідно здійснювати таким чином, щоб вплив ЦВЗ на якість зображення був мінімальним при забезпеченні чіткого розпізнавання бітів ЦВЗ. Для цього пропонується використовувати не один, а декілька коефіцієнтів для порівняння, та такі умови вбудовування бітів ЦВЗ, що дозволять змінювати коефіцієнт на невелике значення порівняно з його власним.

Розглянемо векторне зображення (рис.1) у вигляді одновимірного масиву V , в якому елементами є точки векторного зображення V_l , де $l = 1..N$, N – кількість точок в масиві. $V_l = (X_l, Y_l)$, де X_l, Y_l – значення координат точки V_l векторного зображення. Далі сформуємо матриці розміром 8×8 (тобто

розмірність матриці $n=8$) з кожних 64 координат точок масиву V , та позначимо їх як $C_i(x,y)$, де $i = 1..t$, t – кількість сформованих матриць, x, y – позиції координат в цій матриці.

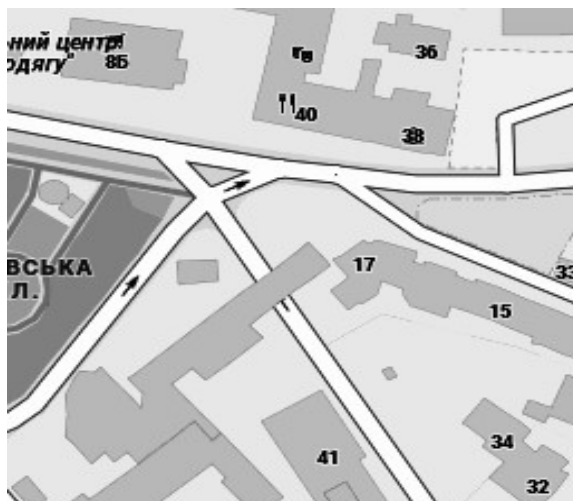


Рис.1. Фрагмент векторної карти

Для кожної матриці $C_i(x,y)$ проведемо пряме двовимірне ДКП, в результаті чого отримаємо матриці коефіцієнтів $F(u,v)$, де u,v – позиції цих коефіцієнтів в матриці. ДКП в загальному вигляді для i -ї матриці $F_i(u,v)$ може бути представлено аналогічним чином як і в (1):

$$F(u,v) = \frac{c(u) \cdot c(v)}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(x,y) \cdot \cos[z_1] \cdot \cos[z_2] \quad (2)$$

де $z_1 = \frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N}$ та $z_2 = \frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N}$ – аргументи дискретно-косинусного перетворення,

$c(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, якщо $u = 0$, і $c(u) = 1$ якщо $u \geq 1$, та $c(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, якщо $v = 0$, і $c(v) = 1$ якщо $v \geq 1$

В кожній матриці низькочастотні коефіцієнти будуть розміщуватись у верхньому лівому куті, високочастотні коефіцієнти – в нижньому правому, а середньочастотні компоненти – по діагоналі матриці (рис.2).

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	630	-67	-1	15	5	0	0	1
1	153	-27	-38	24	-5	1	2	-7
2	63	-18	-3	9	0	-1	-1	-1
3	27	-8	-11	11	-6	1	-1	6
4	13	-9	0	6	0	1	-1	0
5	14	-5	-1	7	0	1	-1	0
6	6	-7	-1	1	-1	1	0	0
7	0	0	1	1	1	0	0	-1

низькочастотні коефіцієнти
 середньочастотні коефіцієнти
 високочастотні коефіцієнти

Рис. 2. Матриця коефіцієнтів ДКП

Для вбудовування одного біта ЦВЗ будемо змінювати значення одного ВЧ-коефіцієнта. Далі визначимо, як саме змінювати цей коефіцієнт, щоб при витягуванні ЦВЗ можна було чітко розпізнати вбудований біт та забезпечити мінімальний вплив ЦВЗ на значення координати точки.

Для цього скористаємось підходом, запропонованим у роботі [7]. Суть цього підходу полягає в тому, що для вбудовування бітів ЦВЗ одному коефіцієнту присвоюють середньоарифметичне зна-

чення декількох інших коефіцієнтів. Оскільки значення в межах блоку зображення 8×8 високорельовані, такий підхід забезпечує незначну зміну коефіцієнта, що дозволяє зменшити спотворення зображення. Для нашого методу, окрім коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$, який будемо змінювати, виберемо ще два додаткових коефіцієнти $F_i(u_2, v_2)$ та $F_i(u_3, v_3)$.

Вибір позицій коефіцієнтів матриці векторного зображення для приховування ЦВЗ можна проводити одразу або за допомогою частини секретного стегоключа k . Наприклад, можна псевдовипадково згенерувати три позиції (u_1, v_1) , (u_2, v_2) та (u_3, v_3) для відповідних коефіцієнтів.

Оскільки матриця коефіцієнтів формується з векторів по 8 елементів, суміжні елементи в матриці, розміщені по вертикалі, не є сусідніми в масиві координат точок зображення. Тому ймовірно, що вони можуть належати різним об'єктам. А це, в свою чергу, може призвести до сильних змін координати точок. Тому пропонується обирати коефіцієнти з одного горизонтального рядка матриці.

Представимо ЦВЗ у вигляді масиву бітів m розміром q . Кожен біт ЦВЗ m_j , $j = 1 \dots q$, будемо вбудовувати послідовно по одному в кожну матрицю $F_i(u, v)$, $i = 1 \dots t$. Зрозуміло, що при цьому кількість бітів ЦВЗ q не повинна перевищувати кількість матриць t . Вбудовування бітів ЦВЗ m_j будемо здійснювати таким чином. Якщо біт $m_j = 0$, то перевіряємо умову:

$$F_i(u_1, v_1) < \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n}, \quad (3)$$

Якщо умова (3) виконується, значення коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$ залишимо без змін, тобто у матриці $F_i(u, v)$ з вбудованим бітом ЦВЗ коефіцієнт $F_i(u_1, v_1)$ буде дорівнювати значенню коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$. У разі невиконання умови (3), отримаємо значення $F_i(u_1, v_1)$ як значення максимального коефіцієнта серед тих що залишилися, $F_i(u_2, v_2)$ та $F_i(u_3, v_3)$ та $F_i(u_4, v_4)$ зменшене на значення P , тобто:

$$F_i(u_1, v_1) = \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n} - P,$$

Параметр P використовується для забезпечення чіткої ідентифікації бітів ЦВЗ при витягуванні. З одного боку, значення параметра P має бути мінімальним, щоб якомога менше змінити значення коефіцієнта та вплинути на координати точок. З іншого боку, значення параметра P має бути достатнім для того, щоб дати змогу відновити біти ЦВЗ.

Якщо при вбудовуванні біт ЦВЗ $m_j = 1$, то перевіряємо виконання умови (3). В разі виконання умови (3) коефіцієнт $F_i(u_1, v_1)$ буде дорівнювати значенню коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$. В разі, якщо значення коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$ не відповідає умові (2.5), значення коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$ визначаємо як відношення максимального значення коефіцієнта ДКП до кількості обраних коефіцієнтів n :

$$F_i(u_1, v_1) = \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n} + P,$$

Після зміни коефіцієнтів проведемо обернене дискретне косинус - перетворення над матрицями змінених коефіцієнтів $F_i(u, v)$ для перетворення векторного зображення з частотного представлення в просторове. В результаті ми отримаємо матриці $S(x, y)$ із значеннями координат точок векторного зображення. Обернене ДКП для i -ї матриці $F_i(u, v)$ можна представити в такому вигляді:

$$S(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} c(u) \cdot c(v) F_i(u, v) \cdot \cos[z_1] \cdot \cos[z_2];$$

де $z_1 = \frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N}$ та $z_2 = \frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N}$ – аргументи дискретно-косинусного перетворення.

Далі з отриманих матриць $S(x, y)$ сформуємо одновимірний масив точок векторного зображення V' .

Для забезпечення стійкості цього методу до стеганографічних атак потрібно використовувати секретний стегоключ k . Цей ключ може бути визначено як позиції коефіцієнтів для вбудовування бітів ЦВЗ в межах кожної матриці. Також як ключ можна використовувати певні номери матриць коефіцієнтів.

ентів ДКП. Крім того, стеганоключем може бути значення певного елементу V_l масиву координат точок векторного зображення або його позиція l в масиві, який буде визначати координату першої точки при формуванні матриць для вбудовування ЦВЗ.

Для виявлення ЦВЗ не потрібна наявність оригіналу зображення чи самого ЦВЗ, окрім секретного стегоключа k .

При витягуванні ЦВЗ слід враховувати, що значення координат точок або їх кількість векторного зображення може відрізнятися від оригіналу зображення, оскільки воно може бути зміненим внаслідок зловмисних спотворень. Враховуючи це, масив точок векторного зображення з вбудованим ЦВЗ позначимо як V' , l' – кількість координат точок в цьому масиві. Аналогічним чином позначимо й інші змінні, які відповідають зміненому після вбудовування ЦВЗ векторному зображенню.

Витягування ЦВЗ з векторного зображення буде проводитись таким чином. Спочатку з масиву точок векторного зображення V' сформуємо матриці $C'_{i'}(x,y)$ розміром 8×8 , де $i' = 1...t'$, t' – кількість сформованих матриць.

Далі над матрицями $C'(x,y)$ проведемо пряме двовимірне ДКП згідно з формулою (2.2), після чого отримаємо матриці коефіцієнтів ДКП $F'_{i'}(u,v)$, $i' = 1...t'$, з вбудованим ЦВЗ.

Після вибору позицій трьох ВЧ-коефіцієнтів $F'_{i'}(u'_1, v'_1)$, $F'_{i'}(u'_2, v'_2)$ та $F'_{i'}(u'_3, v'_3)$, $F'_{i'}(u'_4, v'_4)$ перевіримо виконання умов, що є оберненими до умов (2.3) та (2.5) при вбудовуванні ЦВЗ, та визначимо відповідне значення біта ЦВЗ m'_j :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } m'_j = 0 \text{ якщо } F'_i(u'_1, v'_1) < \frac{\max(F'_i(u_2, v_2), F'_i(u_3, v_3), F'_i(u_4, v_4))}{n} \\ \text{при } m'_j = 1 \text{ якщо } F'_i(u'_1, v'_1) > \frac{\max(F'_i(u_2, v_2), F'_i(u_3, v_3), F'_i(u_4, v_4))}{n} \end{array} \right. ,$$

Далі перетворюємо витягнуті біти $m'_j, j' = 1...q'$ у формат представлення ЦВЗ.

Результати порівняння показників якості вбудовування ЦВЗ в векторне зображення для двовимірного ДКП (МДДКП) та запропонованого методу (ЗМ) при $P=0.00003$ приведений до табл. 1

Табл.1 . Оцінювання показників якості зображення-контейнера внаслідок вбудовування ЦВЗ

Параметри оцінювання	МДДКП Y	МДДКП X	ЗМ Y	ЗМ X
Максимальна відмінність	0.016	0.019	0.014	0.017
Якість зображення	0.9945	0.9987	0.99975	0.9991
Нормована взаємна кореляція	0.9965	0.9903	0.99531	0.990

Отже, запропонований метод вбудовування ЦВЗ в векторні зображення краще себе зарекомендував з точки зору підвищення якості зображення, та показав меншу відмінність від оригіналу в порівнянні з застосуванням класичного двовимірного ДКП

Висновки

Отримані результати дослідження якості роботи запропонованого методу за допомогою кореляційних показників показали, що метод можна використовувати для вбудовування ЦВЗ в векторні зображення, без значного спотворення зображення-контейнера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпінєць В. В. Аналіз впливу цифрових водяних знаків на якість векторних зображень/ В.В. Карпінєць, Ю.Є Яремчук// Сучасний захист інформації. – 2011. – №1. – С.72-82.
2. Михайличенко О.В. Применение стеганографических методов сокрытия информации в неподвижных изображениях / О.В Михайличенко, А.Г. Коробейнико, С.Ю. Каменева// Труды международных научно-технических конференций „Интеллектуальные системы” (IEEE AIS’06) и „Интеллектуальные САПР (CAD-2006)”: в 3 т. М.: Физмалит, 2010. Т.2. – С. 511- 515.
3. E. Koch, J. Zhao, Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling. // IEEE Work shop on Non linear Signal and Image Processing, Greece, June 20-22, 1995. P.123 – 132.
4. Zhou Y. Research of Robustness Evaluation Method for GIS Vector Data Digital Watermarking Algorithm / Y. Zhou, A. Li, G. Ly // Geoinformatics, 2010 18th International Conference on. — 2010. — P. 55—61.
5. Яремчук Ю. Є. Дослідження стеганографічної стійкості методу вбудовування цифрових водяних знаків у векторні зображення / Є. Яремчук, В. В. Карпінєць // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 3. — С. 200—205.
6. Zhengjiang. Research on Testing the Robustness of Digital Watermarking Algorithm / Zhengjiang Yi and Xiaoyan Zhou // Development and Application of Computer, 2009. — Vol. 22(5). P. 11—13.
7. Грибунин В.Г, Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. - М.: СОЛОН-Пресс, 2012.

Юдіна Ганна Максимівна — студентка групи УБ-17мі, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ann.m.yudina@gmail.com.

Науковий керівник: **Карпінєць Василь Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Yudina Anna M. — student, Vinnitsa National Technical University, student of management and security of information Systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Karpinets Vasyl V.** — Ph. D. Assistant professor, management and security of information Systems department; Vinnitsa, Ukraine;