

УДК: 004.056.5

**В.В. Карпінець,
Ю.Є. Яремчук**

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ АВТОРСЬКОГО ПРАВА ВЕКТОРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Проаналізовано сучасні методи вирішення проблеми захисту авторського права векторних зображень.

Ключові слова: комп'ютерні технології, види інформації, векторне зображення, захист авторських прав, стеганографічний метод.

Проанализированы современные методы решения проблемы защиты авторского права.

Ключевые слова: компьютерные технологии, виды информации, векторное изображение, защита авторских прав, стеганографический метод.

Modern methods of the solving of a problem of copyright are analyzed.

Keywords: computer technologies, information type, vector image, copyright, steganographic method.

Завдяки розвитку комп'ютерних технологій сьогодні можна представляти багато різних видів інформації у цифровому вигляді. Одним із найпоширеніших таких видів є цифрові зображення. У зв'язку з цим, дедалі актуальнішою стає необхідність розв'язання задачі захисту авторських прав цифрових графічних зображень. Для цього використовуються стеганографічні методи вбудовування цифрових водяних знаків (ЦВЗ) [1, 2], що дають змогу маркувати об'єкти захисту для подальшого виявлення неправомірного використання зображення.

Загальний процес маркування цифрового об'єкта водяними знаками може бути визначений як відображення такого вигляду [3]: $I \times K \times W \rightarrow \bar{I}'$, де I – вихідний цифровий об'єкт; W – водяний знак, K – стегоключ; \bar{I}' – маркований цифровий об'єкт. Результатом роботи схеми детектування ЦВЗ може бути або витягнений водяний знак W , або деяка оцінка O , яка вказує на ймовірність того, що об'єкт \bar{I}' є маркованим.

Залежно від задач, які має вирішувати стеганосистема, розрізняють такі типи ЦВЗ: крихкі, напівкрихкі та стійкі (робастні) [3]. Крихкі ЦВЗ використовуються для перевірки цілісності зображення, тому при найменшій зміні зображення їх вже неможливо виявити. Напівкрихкі ЦВЗ витримують незначні модифікації зображення, проте нестійкі до зловмисних перетворень, тому їх використовують для виявлення атак на зображення. Стійкі ЦВЗ можуть протистояти більшості відомих атак на стеганографічну систему, тому саме їх використовують для захисту авторських прав на зображення.

Поширені на сьогодні стеганографічні методи захисту растрових зображень для вбудовування стійких ЦВЗ, головним чином, базуються на використанні

статистичної та фізіологічної надлишковості інформації. При цьому вбудовування бітів ЦВЗ відбувається завдяки зміні відтінків кольору точок.

Проте на сьогодні векторні зображення (рис. 1) теж знаходять достатньо широке використання, зокрема, для проектування архітектурних об'єктів, інтер'єрів, розробки приладів, реклами, логотипів, створення шрифтів, географічних карт тощо.

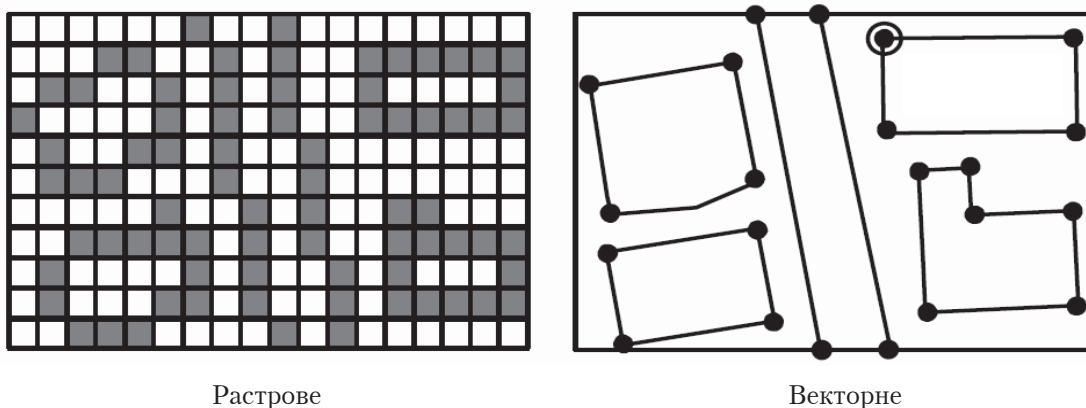


Рис. 1. Приклади растрового та векторного зображень

Двовимірні векторні географічні карти в наш час набули широкого використання і мають важливе значення. Існує велика кількість типів карт різного призначення та з різною точністю відображення, на створення яких витрачається чимало часу та коштів. Використання векторних карт сьогодні дуже поширене – існує достатньо інтернет-сервісів, які надають доступ до деталізованих карт усього світу, крім того, кожен може скористатися системою GPS-навігації за допомогою спеціального пристрою чи мобільного телефону, які також використовують карти у векторному форматі. У зв'язку з цим виникає проблема, пов'язана з можливістю нелегального копіювання та розповсюдження векторних зображень, які мають свого правласника.

Оскільки у файлі векторних зображень зберігається інформація про координати точок та колір, із яких за допомогою формул формуються об'єкти, то вбудувати цифровий водяний знак можна, наприклад, шляхом зміни координат точок. Вбудовування ЦВЗ за рахунок зміни кольору є неефективним, оскільки кількість кольорів об'єктів у векторному зображенні, головним чином, є значно меншою, ніж кількість точок, із яких формуються відповідні об'єкти.

На сьогодні запропоновано низку методів, що дозволяють вбудовувати інформацію в зображення векторного формату. Як і для растрових зображень, методи вбудовування цифрових водяних знаків у векторні зображення можна розділити на декілька груп, залежно від того, яким чином вбудовується інформація. За аналогією з методами растрових зображень, де існують “прямі” та “непрямі” методи [2], можна здійснити поділ у тому числі й методів для векторних зображень. До першої групи можна віднести “прямі” методи, які вбудовують біти ЦВЗ шляхом зміни абсолютних значень координат точок згідно з певним алгоритмом в так званій просторовій області. До другої групи – методи вбудовування інформації в зображення шляхом представлення його у певній формі з використанням певного математичного перетворення.

Окрім схожих підходів до механізму вбудовування ЦВЗ у векторні та растрові зображення, спільними є мета і проблеми цих методів, а саме – забезпечення високої стійкості ЦВЗ та мінімального впливу вбудованого ЦВЗ на якість зображення. Проте існує дуже важлива відмінність – надлишковість растрових і векторних зображень. Оскільки у векторних зображень надлишковість є значно меншою, ніж у растрових, що суттєво обмежує простір для вбудовування ЦВЗ та можливості використання певних підходів вбудовування.

Тому актуальним на сьогодні є аналіз існуючих методів вбудовування ЦВЗ у векторні зображення з точки зору забезпечення мінімального впливу вбудованого ЦВЗ на якість зображення при забезпеченні достатньої стійкості ЦВЗ.

Аналіз існуючих методів вбудовування ЦВЗ у просторову область векторних зображень

Загальний підхід “прямих” методів щодо вбудовування ЦВЗ у векторні зображення схожий із тим, що використовується для растрових зображень. Якщо для растрових методів – це пряма зміна значень кольорів зображень, то для векторних – незначна зміна координат точок, з яких складається зображення. Тому для векторних зображень можна використовувати алгоритми вбудовування інформації, що використовуються для растрових методів. Це ж саме стосується й підходів до покращання стійкості “прямих” методів, наприклад, за допомогою алгоритму псевдовипадкового інтервалу або псевдовипадкової перестановки. Слід зазначити, що особливістю векторних зображень є можливість змінювати не тільки значення точок, а й їх кількість, на основі чого можна розробляти нові алгоритми вбудовування інформації.

Проаналізуємо існуючі на сьогодні методи вбудовування ЦВЗ у просторову область.

У роботі [4] автори для запропонованого методу використовують оновлений та модифікований алгоритм квадрата-дерева. При використанні цього алгоритму векторне зображення розділяється на трикутну сітку, що базується на щільності вершин. ЦВЗ вбудовується шляхом модифікації координат вершин трикутних сіток. Водночас порядок вбудовування ЦВЗ визначається поділом трикутних сіток на рівні. Для того, щоб витягнути ЦВЗ, необхідно розділити зображення з ЦВЗ таким самим чином і після цього порівняти координати вершин з даними ЦВЗ.

Також відомий метод [5], згідно з яким пропонується додавати точки зображення, змінювати довжину, напрям та атрибути ліній для вбудовування ЦВЗ. Вставка точок та зміна ліній є дуже простим методом, що не забезпечує стійкості методу, а метод зміни напрямку ліній та атрибутів не є придатним для точних векторних даних.

Автори методу [6] взяли за основу метод, що використовує *PN*-послідовність (*PN* – псевдошум) у якості ЦВЗ і складається зі значень від’ємного та додатного максимальних відхилень (похибки) та вбудовують його в координати двовимірних векторних карт. Витягування ЦВЗ здійснюється за допомогою релевантності *PN*-послідовності та даних, що були вбудовані.

У роботі [7] автори пропонують метод, згідно з яким векторна карта ділиться на послідовність сіток висотою в $4/3$ допустимого відхилення координат точок, після чого в кожній сітці рисуються дві лінії довжиною $1/3$ допустимого відхилення і позначаються як лінія 0 і лінія 1. ЦВЗ вбудовується шляхом переміщення вершин в сітці до лінії 0 чи лінії 1. Якщо вершина в області 0 і нам необхідно

вбудувати 1, ми переміщаємо вершину в область 1. Нова позиція є симетричною до оригінальної позиції відносно діагоналі.

Відомий метод [8], згідно з яким векторне зображення ділиться навпіл та проводиться адаптивне регулювання на стійкість ЦВЗ відповідно до щільності точок векторного зображення. Після цього, враховуючи дозволу максимально допустиму похибку відхилень координат точок векторного зображення, вбудовується ЦВЗ у векторне зображення шляхом зміни координат вершин. Для того, щоб витягнути дані ЦВЗ, необхідно перевірити карту з подвійним порогом.

У роботі [9] автори пропонують метод, згідно з яким векторне зображення розкладається відповідно до характеристик полігону. Після цього проводиться аналіз векторного полігону, обираються необхідні для вбудовування елементи зображення та проводиться вбудовування ЦВЗ у вершини полігонів. Для того, щоб витягнути ЦВЗ, необхідною є наявність оригінального зображення та самого ЦВЗ, після аналізу яких виконується витягування ЦВЗ з вершин полігонів.

Також відомий метод [10] перевірки цілісності векторної карти. Метод базується на зворотній технології вбудовування крихкого ЦВЗ й використовує ущільнення даних без втрат для досягнення зворотності. Оригінал векторного зображення використовується при витягуванні ЦВЗ для виявлення найменших змін векторного зображення. Основним недоліком цього методу є те, що додавання або видалення вершин полігонів чи поліліній знищує можливість виявлення модифікації векторного зображення.

У роботі [11] запропоновано метод, який комбінує метод найменш значущого біта (НЗБ), метод запису топології просторових даних ГС, а також шифрування ЦВЗ. Цей метод реалізований для приховування псевдовипадково розповсюдженого ЦВЗ в файлах певного формату, що використовуються програмним забезпеченням GISArc/Info.

Також відомий метод [12], автори якого пропонують двошаровий алгоритм вбудовування стійких ЦВЗ. Цей алгоритм розділяє векторну карту на два прошарки, в кожен із яких вбудовується ЦВЗ шляхом зміни точок векторного зображення, використовуючи при цьому різні алгоритми зміни. Для витягування ЦВЗ, необхідно, не виходячи за межі допустимого рівня спотворень, розрахувати позиції ЦВЗ в кожному прошарку, визначити точки, в яких вбудовано ЦВЗ та порахувати середнє значення координат.

Основними недоліками розглянутих методів є забезпечення недостатнього рівня стійкості до зловмисних атак на векторні зображення, особливо до пасивних, що дозволяють визначити місце розташування ЦВЗ для можливого його подальшого видалення. Це пов'язано з низьким рівнем кореляції між сусідніми точками, які були змінені внаслідок вбудовування ЦВЗ, що також спричиняє помітні спотворення векторного зображення.

Оскільки у “прямих” методів вбудовування ЦВЗ у просторову область векторних зображень існують проблеми, пов'язані з недостатнім рівнем стійкості до зловмисних атак. Більший інтерес становлять методи, що при вбудовуванні ЦВЗ використовують математичні перетворення для представлення зображення у певному вигляді й забезпечують вищий рівень стійкості.

Аналіз методів вбудовування ЦВЗ в область математичних перетворень векторних зображень

Суть “непрямих” методів вбудовування ЦВЗ полягає у використанні математичних перетворень для представлення зображень у такій формі, особливості

якої дають додаткові можливості для вбудовування ЦВЗ. Для растрових зображень такі перетворення дозволяють представити зображення у вигляді значень частот певного кольору та дозволяють виділити в зображенні більш значущі елементи від незначущих, якими можна знехтувати без помітних людському оку візуальних змін. Така особливість дає можливість модифікувати такі значення перетворення, зміна яких суттєво не вплине на якість зображення та забезпечить достатню стійкість зображення до навмисних спотворень, наприклад, ущільнення згідно з алгоритмом JPEG.

На сьогодні запропоновано декілька “непрямих” методів вбудовування інформації у векторні зображення, які також використовують математичні перетворення. При цьому вбудовування ЦВЗ відбувається шляхом зміни не координат точок, а, наприклад, їхніх частотних характеристик. Наприклад, використання методу триангуляції Делоне дозволяє перетворити векторне зображення, що є набором точок з певними координатами, на у цілісне двовимірне зображення. Це зображення формується шляхом з’єднання всіх точок між собою згідно з методом та представляється у вигляді сітки, де лінії між точками не перетинаються. Такий підхід використовується для подальшого застосування частотного перетворення. Після цього відбувається зміна значень використаного перетворення для вбудовування бітів цифрового водяного знаку.

Основною проблемою при вбудовуванні ЦВЗ є погіршення якості зображення. Якщо для растрових зображень це погіршення якості зображення внаслідок значної зміни відтінків пікселів, то для векторних зображень – це зміна контурів об’єктів, чи їх положення внаслідок зміни кількості та координат точок. Причому для векторних зображень, що відображають реальні об’єкти в масштабі (архітектурні споруди, механічні та електронні прилади, географічні карти тощо), ця проблема є дуже актуальною, бо суттєва зміна координат точок може спотворити інформацію про існуючі об’єкти чи вплинути на їх створення.

Залежно від того, яка інформація потрібна системі для того, щоб виявити ЦВЗ – оригінал зображення, ЦВЗ, секретний ключ чи додаткова інформація, вони поділяються на чотири типи [1, 2]: конфіденційні, напівконфіденційні, напіввідкриті та відкриті стеганосистеми. Конфіденційні системи ЦВЗ вимагають наявності вихідних даних I . Існують дві модифікації подібних систем. Перша з них використовує вихідне зображення як підказку для витягання водяного знаку W у цифрових, можливо перекручених, даних I' . Функціонування таких систем можна описати як $I' \times I \times K \rightarrow W$. Вважається, що такі системи є найбільш завадостійкими до будь-яких атак, тому що вимагають наявності секретного стегоключа K і видають мінімум інформації.

Напівконфіденційні системи ЦВЗ не вимагають вихідної копії об’єкта для виявлення водяного знаку W . Схему їхньої роботи можна представити як $I' \times K \times W \rightarrow \{0,1\}$.

Напіввідкриті системи ЦВЗ використовують стегоключ (або іншу додаткову інформацію для виявлення водяного знаку), який залежить від вихідної копії даних: $I' \times K(I) \rightarrow W$.

Відкриті системи ЦВЗ для своєї роботи не вимагають знання, а ні оригінальної копії даних I , а ні вбудованого водяного знаку W . Такі системи витягають водяний знак з маркірованих даних: $I' \times K \rightarrow W$.

Для відкритих стеганосистем, на відміну від конфіденційних чи напівконфіденційних існує проблема необхідності більшої зміни зображення при вбудовуванні.

уванні ЦВЗ для забезпечення можливості розпізнавання бітів ЦВЗ без оригіналу зображення, а тільки на основі самого зміненого зображення та стегоключа.

Враховуючи те, що основною вимогою до стеганосистем, які вбудовують ЦВЗ у цифрові зображення, є забезпечення незмінності вбудованої інформації при спотворенні зображення-контейнера та мінімальний вплив методу вбудовування ЦВЗ на якість самого зображення, доцільним є дослідження відомих методів вбудовування ЦВЗ у векторні зображення щодо рівня спотворення зображень внаслідок вбудовування ЦВЗ з урахуванням типу стеганографічної системи.

Також важливим є врахування механізму вбудовування цифрових водяних знаків у зображення та типу стеганографічної системи, яку представляють методи з точки зору необхідної інформації при витягування ЦВЗ. Крім того, аналіз цих методів слід проводити, в першу чергу, з точки зору рівня спотворення зображень внаслідок вбудовування ЦВЗ, а також можливості витягування ЦВЗ без наявності оригіналу зображення чи самого ЦВЗ.

У роботі [13] запропоновано метод вбудовування ЦВЗ, що базується на дискретному перетворенні Фур'є (ДПФ). Суть методу полягає у зміні координат точок, з яких сформовані закриті полігони векторних карт. Цей метод використовує особливості перетворення Фур'є для геометричних перетворень. ЦВЗ вбудовується у послідовність коефіцієнтів ДПФ, що відповідають масивам вершин закритих полігонів. Витягування бітів ЦВЗ проводиться з використанням адаптованого методу виявлення лінійної кореляції. Для витягування необхідною є наявність оригіналу векторного зображення, що дещо ускладнює процедуру підтвердження авторства.

На основі цього методу у роботі [14] запропоновано вдосконалений метод вбудовування ЦВЗ у векторні зображення, який не потребує для витягування ЦВЗ оригіналу зображення. Однак це досягається шляхом значної зміни коефіцієнтів ДПФ, що в деяких випадках суттєво впливає на якість векторного зображення внаслідок вбудовування ЦВЗ.

Також на основі методу [14] в роботі [15] запропоновано метод вбудовування ЦВЗ, в якому вдосконалено процедуру витягування ЦВЗ. Суть вдосконалення полягає у забезпеченні кращого рівня правильності розпізнавання бітів ЦВЗ. Для цього використовується надлишковість вбудованих даних, а також розроблено метод визначення наявності ЦВЗ у зображенні шляхом перевірки лише одного багатокутника. Недоліком цього методу є те, що для витягування ЦВЗ виникає необхідність наявності його оригіналу.

Автори роботи [16] пропонують метод, що також базується на ДПФ. Згідно з методом спершу виконується перетворення координат точок в ціле значення, а потім перетворення ДПФ для масивів з 8 точок. ЦВЗ вбудовується шляхом зміни високочастотних коефіцієнтів. В роботі також проведений детальний аналіз рівня спотворень векторних зображень внаслідок вбудовування ЦВЗ, а також можливого розміру ЦВЗ. Недоліком цього методу є невеликий розмір вбудованого ЦВЗ, а також необхідність наявності оригіналу зображення при витягуванні ЦВЗ.

У роботі [17] запропоновано метод, який є оптимізацією попереднього методу [16]. Згідно з методом також з'єднуються 8 сусідніх точок, однак над ними виконується ДКП. Коефіцієнти, отримані в результаті цього перетворення, діляться на два діапазони – R_1 і R_2 . Для кожного коефіцієнта з діапазону R_2 , якщо він не більший за максимальний елемент з R_1 , відбувається подвоєння його значення. Якщо цей коефіцієнт більший, ніж максимальне значення в R_1 , до нього додається

максимальне значення з $R1$. Таким чином, ЦВЗ вбудовується шляхом зміни коефіцієнта $R2$. Цей метод забезпечує витягування без наявності оригіналу ЦВЗ, однак внаслідок вбудовування ЦВЗ можливі значні спотворення векторного зображення.

Також запропоновано метод [18], що вбудовує ЦВЗ в діапазон коефіцієнтів ДПФ та використовує практичний алгоритм витягування ЦВЗ. Для витягування ЦВЗ використовується коефіцієнт кореляції витягнутого і оригінального ЦВЗ. Недоліком цього методу є необхідність наявності оригіналу самого ЦВЗ.

Метод, поданий в роботі [19], також вбудовує ЦВЗ у векторні зображення на основі частотного перетворення. Для цього методу використовується дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) над множиною координат точок ліній і площин. Вбудовування ЦВЗ проводиться шляхом зміни низькочастотних коефіцієнтів, що отримані в результаті вейвлет-перетворення, після чого виконується зворотне ДВП для отримання векторного зображення з вбудованим ЦВЗ. Недоліком запропонованого методу є значний вплив зміни низькочастотних коефіцієнтів на значення координат точок, а також те, що при видаленні однієї з точок векторного зображення буде неможливо розпізнати ЦВЗ.

У роботі [20] запропоновано метод захисту авторського права векторних зображень за допомогою цифрових водяних знаків Обуші-Уеда-Ендоха. Суть методу полягає у вбудовуванні ЦВЗ в частотну область представлення векторного зображення.

Для цього векторне зображення представляється як масив точок, які з'єднуються між собою за допомогою триангуляції Делоне. В результаті утворюється двовимірна поверхня з трикутників, вершинами яких є всі точки векторного зображення, приклад якої показано на рис. 2.

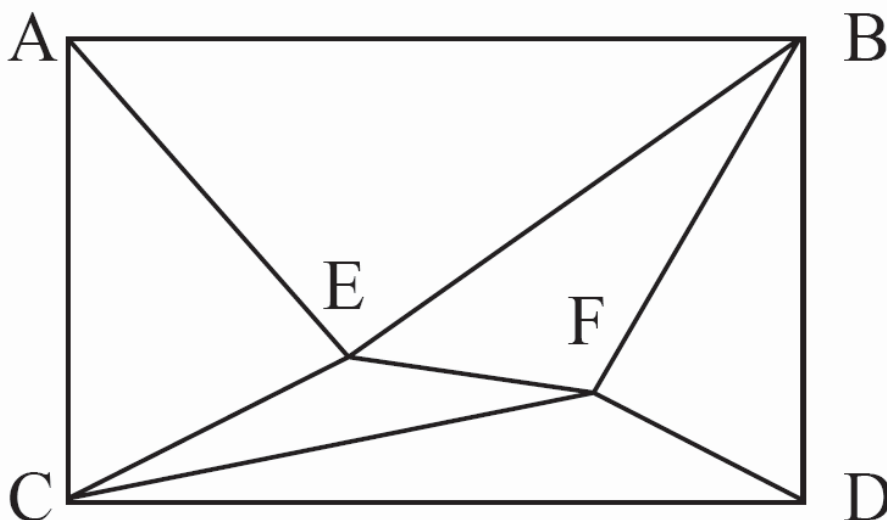


Рис. 2. Приклад частини сформованої поверхні після триангуляції Делоне.

Для представлення зображення в частотному вигляді проводиться послідовне перетворення частин утвореної поверхні за допомогою матриць Лапласа розміром $n \times n$. Коефіцієнти отриманих матриць перетворення показують частоту появи певних значень довжин сторін трикутників. Приклад сформованої матриці показано на рис. 3.

	A	B	C	D	E	F
A	1	-1/3	-1/3	0	-1/3	0
B	-1/4	1	0	-1/4	-1/4	-1/4
C	-1/4	0	1	-1/4	-1/4	-1/4
D	0	-1/3	-1/3	1	0	-1/3
E	-1/4	-1/4	-1/4	0	1	-1/4
F	0	-1/4	-1/4	-1/4	-1/4	1

Рис. 3. Приклад сформованої матриці Лапласа частотних коефіцієнтів

Вбудовування бітів ЦВЗ проводиться шляхом зміни значень частотних коефіцієнтів залежно від біта ЦВЗ згідно з такою умовою:

$$b'_i = \begin{cases} -1, & \text{якщо } b_i = 0; \\ 1, & \text{якщо } b_i = 1. \end{cases}$$

Витягування ЦВЗ здійснюється шляхом порівняння матриць частотних коефіцієнтів зображення з вбудованим ЦВЗ та матриць оригіналу векторного зображення.

Автори запропонованого методу проаналізували його щодо впливу вбудовування ЦВЗ на якість зображення, результати якого показані на рис. 4.

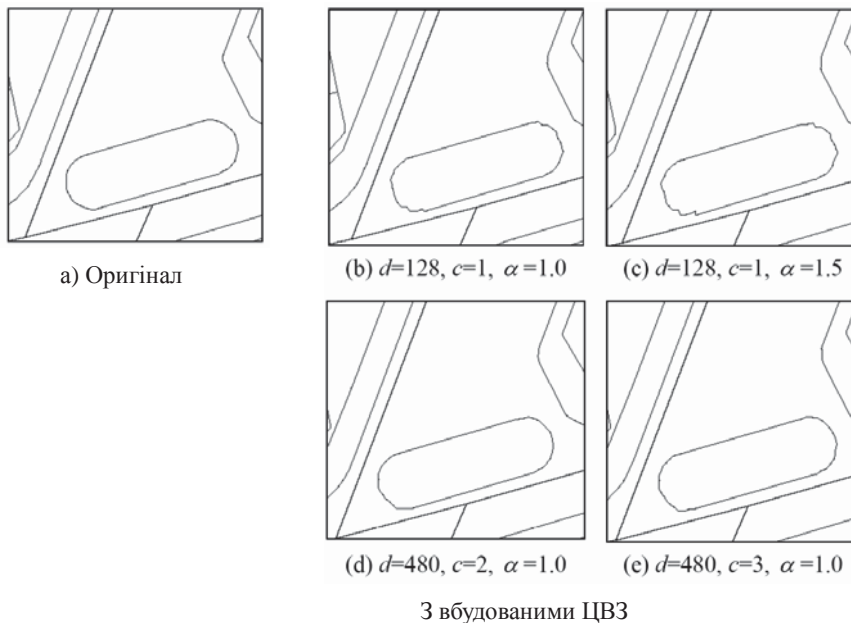


Рис. 4. Приклади фрагментів зображень до та після вбудовування ЦВЗ

З рис. 4 видно, що цей метод забезпечує в деяких випадках незначний вплив вбудовування ЦВЗ на якість векторного зображення. Такий результат досягається

тим, що для витягування ЦВЗ використовується оригінал самого зображення, що дає змогу вбудовувати біти ЦВЗ без значних змін координат точок зображення. Однак потреба в оригіналі зображення може дещо ускладнювати процедуру витягування ЦВЗ для користувача, особливо при великій кількості захищених зображень, оскільки вони всі повинні бути в наявності для підтвердження авторства.

До стеганографічних методів, що для витягування ЦВЗ не потребують оригіналу зображення чи самого ЦВЗ та базуються на певних перетвореннях векторних зображень, відносять відомі методи Базіна-Барса-Маделана [21], Хе-Жу-Ванга [22], Солачідіса-Ніколаїдіса-Пітаса [23]. Проте загальною проблемою цих методів є помітне погіршення якості векторного зображення внаслідок вбудовування ЦВЗ.

У роботі [24] запропоновано метод вбудовування ЦВЗ у двовимірні векторні карти на базі одновимірного ДКП, який дозволяє витягувати ЦВЗ без додаткової інформації і частково вирішує проблему погіршення якості зображень.

Згідно з методом Войта-Янга-Буша, векторне зображення перетворюється на частотний вигляд за допомогою одновимірного ДКП. Суть методу полягає у вбудовуванні бітів ЦВЗ шляхом зміни значень високочастотних коефіцієнтів. Для цього, залежно від біта ЦВЗ, змінюється значення останнього коефіцієнта. Якщо біт ЦВЗ – “1”, то останній коефіцієнт A_7 збільшується на максимальне значення коефіцієнта з діапазону A_1 - A_6 . Змінене значення буде позначатися як A'_7 . Якщо біт ЦВЗ дорівнює “0”, коефіцієнт не змінюється. Приклад вибору точок, результат ДКП та вбудовування ЦВЗ показано на рис. 5.

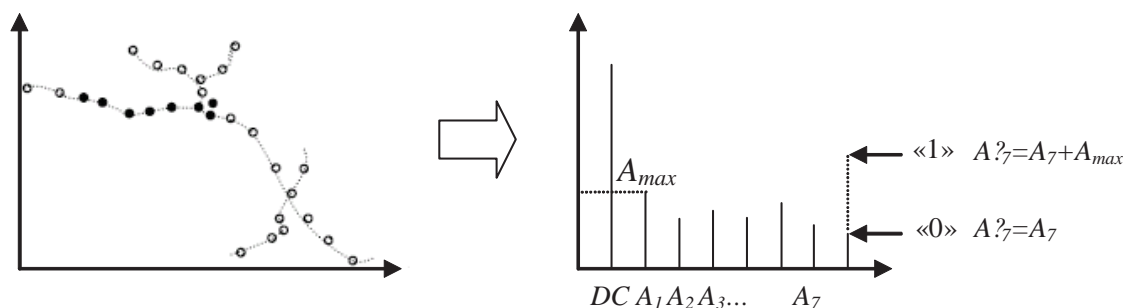


Рис. 5. Приклад процесу вбудовування ЦВЗ

Такий підхід забезпечує витягування ЦВЗ без наявності оригіналу карти чи ЦВЗ, бо для витягування бітів достатньо порівняти значення останнього коефіцієнта з іншими: якщо він більший – значить, це “1”, якщо менший – “0”.

Вбудовування ЦВЗ у зображення згідно із запропонованим авторами методом дещо більше впливає на якість векторних зображень порівняно з методом Обуші-Уеда-Ендоха, однак його перевага полягає в тому, що для витягування не потрібна наявність оригіналу зображення чи ЦВЗ.

В [24] було показано, що сумарна похибка відхилення координат точок відносно оригіналу в деяких випадках є досить суттєвою. Для зменшення впливу ЦВЗ на координати точок в роботі було запропоновано обмежити значення A_{max} шляхом вибору його з діапазону A_4 - A_6 . Результати візуального спотворення показано на рис. 6.

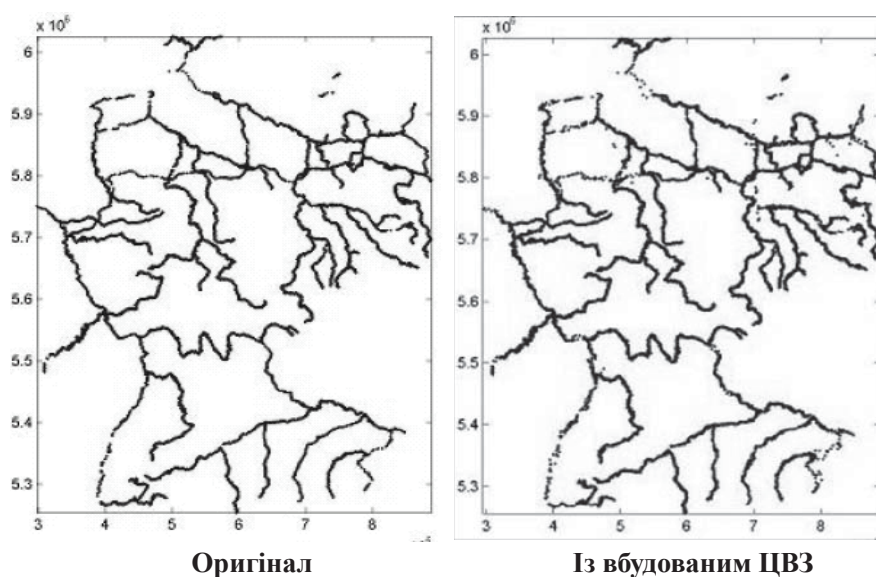


Рис. 6. Приклад векторного зображення до та після вбудовування ЦВЗ

Як видно з рис. 6, це не дає прийняттого результату щодо збереження якості зображення, бо можливі випадки, коли серед значень діапазону $A_4 - A_6$ знаходиться велике порівняно з A_7 число.

У зв'язку з цим, особливий інтерес становить метод, запропонований в роботі [25], який забезпечує зменшення сумарної похибки відхилення координат точок від оригіналу у декілька разів порівняно з методом Войта-Янга-Буша. Для цього в методі використовується двовимірне ДКП і зміна коефіцієнтів ДКП таким чином, щоб його вплив на якість зображення був мінімальним при забезпеченні чіткого розпізнавання бітів ЦВЗ. Крім цього, для усунення проблеми виникнення значних відхилень точок під час вбудовування біти ЦВЗ вбудовуються лише у ті матриці коефіцієнтів ДКП, зміна яких не призводить до таких відхилень. Для визначення придатних для вбудовування матриць запропоновано умови відбору з використанням граничного значення величини зміни коефіцієнтів внаслідок вбудовування ЦВЗ.

У роботі проведено аналіз існуючих на сьогодні стеганографічних методів вбудовування стійких ЦВЗ у векторні зображення для захисту авторського права з точки зору впливу ЦВЗ на якість векторних зображень та стійкості до зловмисних атак. Особливий інтерес становлять методи, які для витягування ЦВЗ не потребують наявності оригіналу зображення чи самого ЦВЗ, що значно спрощує процедуру підтвердження авторства.

Можливість правильного розпізнавання бітів ЦВЗ при витяганні ЦВЗ без оригіналу зображення, а тільки на основі самого зміненого зображення та стегоключа, потребує більших змін зображення при вбудовуванні ЦВЗ у частотну область, аніж у випадках, коли витягання ЦВЗ проводиться з використанням додаткової інформації.

Тому важливою характеристикою методів, що витягують ЦВЗ без додаткової інформації, є можливість зменшення впливу вбудовування ЦВЗ на якість векторного зображення.

Проведено аналіз існуючих методів, що вбудовують ЦВЗ у просторову область векторного зображення, який показав, що кращий рівень стійкості до зловмисних

атак забезпечують методи, що вбудовують ЦВЗ в область математичних перетворень, зокрема частотних.

Аналіз методів вбудовування ЦВЗ у частотну область зображення показав, що вони забезпечують кращу стійкість до зловмисних атак, однак при цьому рівень спотворень зображень є вищим, ніж для “прямих” методів.

Тому запропоновано метод вбудовування ЦВЗ в частотну область векторних зображень на основі двовимірного ДКП, що разом з особливим підходом до зміни його коефіцієнтів дало можливість зменшити рівень спотворень зображень у декілька разів при забезпеченні достатньої стійкості до атак.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шелест М.Е. Введение в компьютерную стеганографию : монография / В.А. Хорошко, М.Е. Шелест. – К., 2002. – 139 с.
2. Основи комп'ютерної стеганографії. Навчальний посібник / В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.Є. Шелест, Ю. Є. Яремчук. – Вінниця : ВДГУ, 2003. – 143 с.
3. Защита информации в телекоммуникационных системах / Г. Ф. Конахович, В.П. Климчук, С.М. Паук, В.Г. Потапов. – К. : МК-Пресс, 2005. – 288 с.
4. Zheng L. Research on Vector Map Digital Watermarking Technology / L. Zheng, Y. Jia, Q. Wang. // First International Workshop on Education Technology and Computer Science – 2009. – P. 303–307.
5. Ohbuchi R. A shape-preserving data embedding algorithm for NURBS curves and surfaces / R. Ohbuchi, H. Masuda and M. Aono // Proc. Of Computer Graphics International'99[C], Canmore, Canada, 1999:170-177.
6. Sencar H.T. Data Hiding Fundamentals and Applications. / Husrev T. Sencar, Mahalingam Ramkumar, Ali N. Akansu. // Content Security and Digital Multimedia Elsevier science and technology books, 2004. – 364 p.
7. Johnson N.F. Information Hiding: Steganography and Watermarking – Attacks and Countermeasures / Neil F. Johnson, Zoran Duri, Sushil Jajodia // Kluwer Academic Publishers, 2001. – 160 p.
8. Katzenbeisser S. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermark / Stefan Katzenbeisser, Fabien A. P. Petitcolas // Artech House Publishers, 1999. – 220 p.
9. Endoh U. Ueda and S. Endoh // in the IEEE International Conference on Multimedia and Expo 2002[C], Lausanne, Switzerland, 2002:577-580.
10. Sonnet H. Illustration watermarks for vector graphic” / H. Sonnet, T. Isenberg, J. Dittmann and T. Strothotte // Proceedings of 11th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, Canmore, Canada, 2003:73-82.
11. Voigt M. Watermarking 2D-vector data for geographical information system” / M. Voigt, and C. Busch // Proceedings of IS&T/SPIE Electron Imaging[C], Washington, America, 2002, 4675:621-628.
12. Voigt M. Feature-based watermarking of 2D-vector data” / M. Voigt and C. Busch. // Proceedings of SPIE[C], Santa Clara, 2003, 5020:359-366.
13. Schulz G. A high capacity watermarking system for digital maps” / G. Schulz and M. Voigt // ACM Multimedia and Security Workshop 2004[C], Magdeburg, Germany, 2004:180-186.
14. Lianquan M. The digital watermark of vector geo-data / Min Lianquan // Bulletin of Surveying and Mapping, 2007,1:43-46.
15. Li Y. Copyright protection of the vector map using the digital watermark / Li Yuan-yuan and Xu Lu-ping // Journal of Xian University, 2004, 31(5):719-723.
16. Wang W. A robust watermarking algorithm for 2D vector graphics / Wang Wei and Li Ya // Journal of Image and Graphics, 12(2):200-205.
17. Shao C. Security issues of vector maps and a reversible authentication scheme / Shao Chengyong, Wang Xiaogong and Xu Xiaogang // Papers of 2005 Doctoral Forum of China, 2005, 326-331.
18. Jia P. Technical methods for encrypting and hiding digital watermark in GIS spatial data / Jia Peihong, Ma Jinsong, Shi Zhaoliang and Xu Zhizhong // Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(8):747-750.
19. Ma T. Watermarking algorithm on 2D vector digital maps / Ma Tallin, Gu Chong and Zhang Liangpei // Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(9):792-294.

20. *Tie-Sheng F.* Method of vector graphics digital watermarking based on B-spline / Fan Tie-Sheng, Meng Yao and Fang Xiao-bing // Computer Engineering and Applications, 2007, 43(17):69-70.

21. *Wang X.* A robust watermarking algorithm for vector digital mapping / Wang Xun, Lin Hai and Bao Hujun // Journal of computer-aided design & computer Graphics, 2004, 16(10):1377-1381.

22. *Chang-qing Z.* An anticompression watermarking algorithm for vector map data / Zhu Chang-qing, Yang Cheng-song and Li zhong-yua // Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2006, 23(4):281-283.

23. *Solachidis V.* Watermarking polygonal lines using Fourier descriptors / V. Solachidis, N. Nikolaidis and I. Pitas. // in Proc. of ICASSP'2000[C], Istanbul, Turkey, 2000:1955-1958.

24. *Voigt M.* Reversible watermarking of 2D vector data / M. Voigt, B. Yang and C. Busch // ACM Multimedia and Security Workshop. – 2004, – P. 160 – 165.

25. *Карпінець В.В.* Зменшення відхилень координат точок внаслідок вбудовування цифрових водяних знаків у векторні зображення / В.В. Карпінець, Ю.Є. Яремчук // Правове, нормативне, та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні – 2010. – № 2(21). – С.101–109.

Отримано 21.08.2013