

## МЕТОД ЗАХИСТУ АВТОРСЬКОГО ПРАВА В ЗОБРАЖЕННЯХ ФОРМАТУ JPEG ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

### Вступ

Стрімкий розвиток комп'ютерних технологій сприяє накопиченню мультимедійної інформації в Інтернеті. Росте пропускна здатність каналів, удосконалюються потокові технології, покращуються методи ущільнення інформації, що дозволяє публікувати чи продавати свою продукцію в цифровому вигляді. Кожен витвір має свого автора-правовласника, для якого актуальною стає проблема захисту від піратства. Для вирішення вказаної проблеми ефективно використовуються цифрові водяні знаки (ЦВЗ). При цьому на мультимедійну інформацію наноситься спеціальна мітка, яка залишається невидимою для людини, але розпізнається спеціалізованим програмним забезпеченням. Особливої уваги вимагає проблема захисту авторських прав в зображеннях.

Для представлення авторами зображень в Інтернеті, доступ до якого в основному відбувається через канали з обмеженою пропускною здатністю, виникає проблема ущільнення зображення з мінімальною втратою якості. Існує багато методів ущільнення зображень, проте найпоширенішим є алгоритм JPEG. Тому досить актуальною на сьогодні є проблема захисту авторських прав в JPEG-зображеннях.

Існуючі методи вбудовування ЦВЗ в зображення формату JPEG [1] базуються на зміні коефіцієнтів дискретного косинус-перетворення, які представляють зображення у вигляді частотної інформації. При побудові нових методів захисту авторських прав існують такі проблеми [2]: знищення ЦВЗ при високих коефіцієнтах компресії зображення, помітне погіршення якості зображення при вирішенні попередньої проблеми, необхідна наявність оригіналу зображення чи ЦВЗ для подальшого виявлення цифрової мітки.

### Аналіз алгоритму ущільнення JPEG

Основною особливістю алгоритму ущільнення JPEG є використання дискретного косинус-перетворення (ДКП) для представлення зображення в частотному вигляді [3]. В результаті отримується зображення, представлене набором матриць коефіцієнтів базисних функцій, які несуть інформацію про рівень зміни яскравості пікселів певної частоти зустрічаємості в блоці зображення. В основному всі зображення складаються з низькочастотних та середньочастотних коефіцієнтів, тому значення високочастотних коефіцієнтів близькі до нуля і в подальшому ними можна знехтувати. На цьому і будується основний принцип ущільнення зображення згідно алгоритму JPEG.

Ущільнення зображення відбувається згідно такої послідовності дій [4]:

1. Перетворення простору кольору RGB в простір YCbCr, де Y-яскравість кольору, Cb та Cr – відтінки кольорів. Таке перетворення дає змогу отримати зображення у вигляді інформації про яскравість і відтінок кольору окремого пікселя. Перевагою простору кольору YCbCr є виділення значущих і менш значущих компонент кольору відповідно до властивостей зорової системи людини. Це досить важливий момент для подальшого ущільнення інформації зображення. Перетворення відбувається таким чином:

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B + 128, \\ Cb &= -0.1687 \cdot R - 0.3313 \cdot G + 0.5 \cdot B + 128, \\ Cr &= 0.5 \cdot R - 0.4187 \cdot G - 0.0813 \cdot B + 128. \end{aligned}$$

2. Дискретизація. JPEG стандарт приймає до уваги те, що людське око більш чутливе до яскравості ніж до відтінку цього кольору. Так, для більшості JPEG зображень, яскравість Y береться для кожного пікселя, тоді як Cb, Cr - як середня величина для блоку 2x2 пікселів:

$$Cb = \frac{1}{4} \sum_{t=1}^4 U_t,$$

$$Cr = \frac{1}{4} \sum_{t=1}^4 V_t.$$

3. Зсув рівня. Всі 8-бітові величини без знаку (Y,Cb,Cr) у зображенні - "зміщені за рівнем": вони перетворюються в 8-бітове знакове представлення, шляхом віднімання 128 з їхньої величини.

4. Дискретне косинус-перетворення. Проводиться для переходу від обробки вихідних зображень в просторовому представленні до простору частот зміни яскравості й відтінків. Дискретне косинус-перетворення застосовується до матриць значень кожного каналу кольору RGB розміром 8x8. Пряме ДКП та зворотне відбуваються за формулами:

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

$$S(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} c(u) \cdot c(v) \cdot F(u, v) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N}\right)$$

де  $C(x,y)$  та  $S(x,y)$  – відповідно, елементи оригінального та відновленого за коефіцієнтами ДКП зображення розміром  $N \times N$ ;  $x, y$  – просторові координати пікселів зображення;  $F(u,v)$  – масив коефіцієнтів ДКП;  $u, v$  – координати в частотній області;  $c(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , якщо  $u=0$ , і  $c(u) = 1$ , якщо  $u>0$ ;  $c(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , якщо  $v=0$ , і  $c(v) = 1$ , якщо  $v>0$ ;

5. Квантування. Етап, на якому відбувається найбільш значне ущільнення зображення. Метою квантування є отримання якомога більше нульових значень високочастотних коефіцієнтів ДКП. Це досягається шляхом ділення матриць з коефіцієнтами на одну з таблиць квантування, при чому результат від ділення заокруглюється до цілого числа. Таблиця квантування може бути створена за алгоритмом:

```

Q :=
  x ← 0
  for i ∈ 0..7
    y ← 0
    for j ∈ 0..7
      sx,y ← 1 + [(1 + i + j) · q]
      y ← y + 1
    x ← x + 1
  s

```

При цьому  $q$  – це коефіцієнт ущільнення, який може приймати значення від 1 до 25. Крім цього існує ряд таблиць квантування, запропонованих авторами алгоритму JPEG, що враховують особливості більшості зображень та зорової системи людини. Таблиць квантування може бути декілька – окремо для кожного компонента простору Y,Cb,Cr, так як допускається більша втрата значень коефіцієнтів відповідних для Cb та Cr ніж для Y.

6. Кодування нулів (RLC). На цьому етапі також відбувається ущільнення інформації, проте на якість зображення воно не впливає. Розглянута матриця квантованих значень у вигляді вектору містить у собі довгі послідовності нулів. Послідовність нулів яка йде перед не нульовим значенням записується одним числом, яке дорівнює кількості нулів в послідовності. Наприклад послідовність 0 0 0 0 0 0 15 запишеться як (7, 15).

7. Кодування Хафмана. Дозволяє представити десяткові числа у коротших бітових послідовностях порівняно з їхніми двійковими представленнями. Для цього використовується таблиця Хафмана:

Таблиця 1 – Таблиця Хафмана

Величини	Категорія	Біти для величини
0	0	-
-1,1	1	0,1
-3,-2,2,3	2	00,01,10,11
-7,...,-4,4,...,7	3	000,001,010,011,100,101,110,111
-15,...,-8,8,...,15	4	0000,...,0111,1000,...,1111
-31,...,-16,16,...,31	5	0000,...,0111,1000,...,1111
-63,...,-32,32,...,63	6	.
-127,...,-64,64,...,127	7	.
-255,...,-128,128,...,255	8	.
-511,...,-256,256,...,511	9	.
-1023,...,-512,512,...,1023	10	.
-2047,...,-1024,1024,...,2047	11	.
-4095,...,-2048,2048,...,4095	12	.
-8191,...,-4096,4096,...,8191	13	.
-16383,...,-8192,8192,...,16383	14	.
-32767,...,-16384,16384,...,32767	15	.

Після кодування Хафмана отримана інформація разом з використовуваними таблицями квантування та кодами Хафмана записується у файл \*.jrg.

Виходячи з особливостей вищеописаного алгоритму видно, що на одному з етапів зображення представляється у вигляді коефіцієнтів ДКП, які можна змінювати в деяких допустимих межах без впливу на якість зображення. Це пояснюється тим, що JPEG – це алгоритм ущільнення з втратами [5]. Тобто навіть при ущільненні зображення з коефіцієнтом ущільнення рівним нулю, відбувається незначна втрата інформації, яка не впливає на видиму якість зображення. Ця втрата відбувається на етапі квантування, коли значення заокруглюються до цілого числа.

### Метод вбудовування цифрових водяних знаків в JPEG-зображення

Суть даного методу полягає в приховуванні ЦВЗ шляхом зміни коефіцієнтів ДКП. Відповідно до існуючих методів, що використовують зміну значень коефіцієнтів, запропонований метод використовує принципово кращий підхід до зміни значень коефіцієнтів та надійніший захист цифрових водяних знаків.

Для реалізації методу в зображеннях JPEG потрібно провести декілька зворотних операцій згідно алгоритму JPEG для отримання зображення у вигляді матриць коефіцієнтів ДКП:

1. Дешифратор Хафмана. Відбувається зворотне перетворення двійкових послідовностей разом з кодами Хафмана у десяткові числа з використанням таблиці Хафмана.

2. Декодування нулів. Перше число кожної пари чисел перетворюється на послідовність з відповідною кількістю нулів, що передує другому числу.

3. Зворотне квантування. З отриманого вектора формується матриця значень, яка множиться на таблицю квантування, що записана у файлі. Таким чином отримується набір матриць відновлених коефіцієнтів.

Після цього етапу відбувається приховування цифрового водяного знаку. Перед приховуванням проводиться аналіз блоків коефіцієнтів зображення на придатність – вибираються блоки, які відповідають таким умовам: блоки не повинні мати різких перепадів яскравості та блоки не повинні бути сильно монотонними. Блоки, які не відповідають першій

умові, характеризуються дуже великими значеннями НЧ коефіцієнтів [6]. Для блоків, які не відповідають другій умові, характерна рівність нулю більшості високочастотних коефіцієнтів. На основі цього встановлюються порогові значення коефіцієнтів  $P_L$  та  $P_H$ . Також перед вбудовуванням обумовлюється граничне значення параметра  $P$ , який означає на скільки може бути змінений коефіцієнт.

Вибір коефіцієнтів блоку зображення для приховування повідомлення відбувається наступним чином: псевдовипадково вибираються два НЧ коефіцієнти  $F_b(u_2, v_2)$  та  $F_b(u_3, v_3)$ . Значення позицій  $(u_2, v_2)$  та  $(u_3, v_3)$  генеруються на основі секретного ключа  $k$ . Далі відбувається визначення придатності пари коефіцієнтів, використовуючи порогове значення  $P$ . При цьому різниця між значеннями коефіцієнтів не повинна перевищувати  $P$ :

$$F_b(u_2, v_2) - F_b(u_3, v_3) \leq p \in \{-P, P\}$$

Після цього вибираються ще два коефіцієнти  $F_b(u_1, v_1)$  та  $F_b(u_4, v_4)$  шляхом накладання умови з граничним значенням  $P$  на сусідні коефіцієнти відносно  $F_b(u_2, v_2)$  та  $F_b(u_3, v_3)$ :

$$\begin{aligned} F_b(u_1, v_1) - F_b(u_2, v_2) &\leq p \in \{-P, P\}, \\ F_b(u_3, v_3) - F_b(u_4, v_4) &\leq p \in \{-P, P\}. \end{aligned}$$

Згідно методу, в кожен блок коефіцієнтів розміром  $8 \times 8$  можна приховати 2 біти приховуваної інформації. Інформація вбудовується шляхом зміни НЧ коефіцієнтів за деякою умовою, яка також дозволяє виявити ЦВЗ. Якщо потрібно вбудувати «0», коефіцієнт  $F_b(u_1, v_1)$  або  $F_b(u_4, v_4)$  змінюється таким чином, щоб він був менший від середнього арифметичного значення з коефіцієнтом  $F_b(u_2, v_2)$  і  $F_b(u_3, v_3)$ . При вбудовуванні «1» коефіцієнт повинен бути більшим від середнього арифметичного значення.

Після вбудовування цифрового водяного знаку потрібно виконати ряд дій, що описані в пунктах 5-7 алгоритму JPEG для представлення вихідного зображення в первинному форматі JPEG.

Для виявлення ЦВЗ не потрібно наявності оригіналу зображення чи самого ЦВЗ. Перед вилученням інформації виконуються аналогічні дії згідно методу та аналогічний аналіз на придатність блоків та коефіцієнтів. Проте замість етапу приховування відбувається виявлення цифрового водяного знаку. Для прийняття рішення про наявність в блоці зображення конкретних двобітових комбінацій чи окремих бітів цифрового водяного знаку проводиться порівняння коефіцієнтів згідно умов, за якими ці біти вбудовувалися.

Для практичної реалізації даного методу слід розглянути структуру файлу JPEG. Згідно специфікації JPEG, файли складаються з маркерів, які вказують на початок певної секції нових даних, наприклад – секція таблиць квантування. Кожен маркер починається з байту, що містить 8 двійкових одиниць (FFh). Після цього обов'язково слідує код маркеру, який вказує на спосіб інтерпретації наступних даних, якщо вони передбачені цим типом маркера. Програми, які аналізують вміст файлів JPEG пропускають послідовність байт FFh, а якщо після байту FFh розміщений байт 00h, то останній байт вилучається з подальшого розгляду, а сам байт FFh уже не розглядається, як початок маркера. Такий підхід дозволяє однозначно ідентифікувати початок певної секції.

Структуру файлу JPEG складають вісім таких частин [7]:

1. Початок малюнку(SOI).
2. Маркер APP0.
3. Необов'язкові маркери APPn, де n – ціле число від 1 до 15.
4. Одна чи кілька таблиць квантування (DQT).
5. Початок фрейму (SOF).
6. Одна чи кілька таблиць Хафмана (DHT).
7. Початок сканування (SOS).
8. Кінець малюнка(EOI).

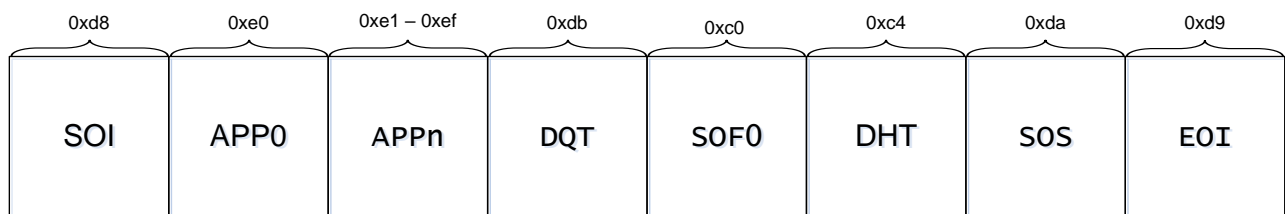


Рис. 1 – Структура файлу JPEG формату

Враховуючи структуру файлу згідно специфікації JPEG можна навести загальну структуру процесу вбудовування ЦВЗ в файл формату JPEG :

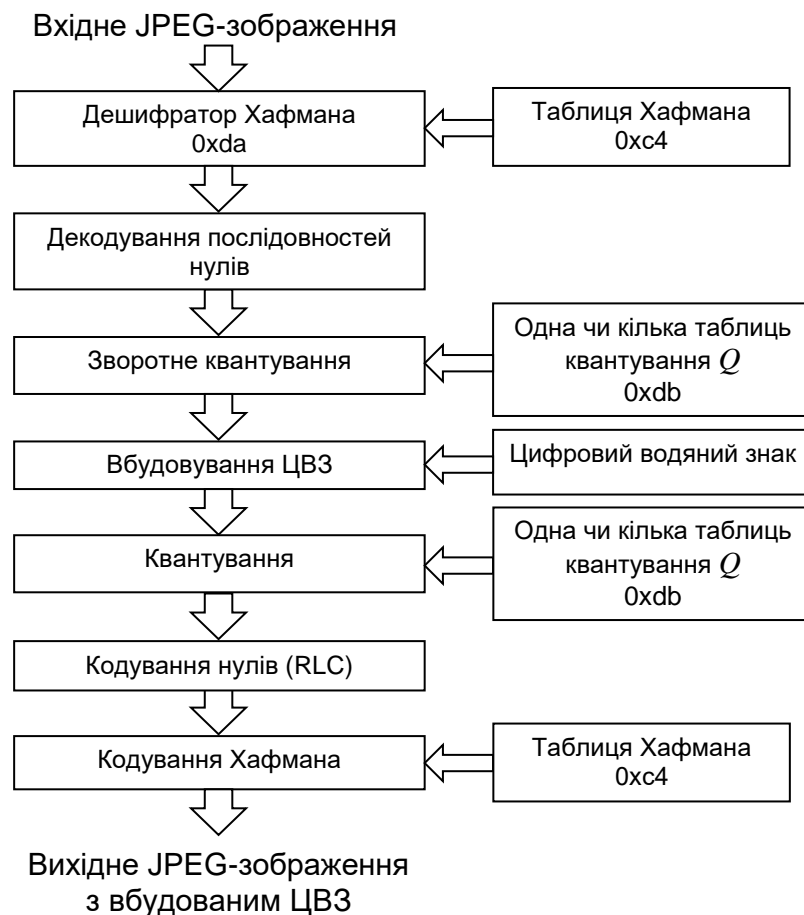


Рис. 2 – Структура процесу вбудовування ЦВЗ в JPEG-зображення

Аналіз запропонованого методу показує, що для вбудовування цифрового водяного знаку у зображення формату JPEG не потрібно виконувати весь зворотний алгоритм JPEG. Виконується тільки частина алгоритму для отримання зображення у вигляді матриць коефіцієнтів ДКП.

При цьому метод має певні переваги над методами, що використовують зміну коефіцієнтів ДКП для вбудовування цифрового водяного знаку:

- приховування двох бітів інформації в блок зображення дозволяє вбудувати ЦВЗ більшого розміру;
- в запропонованому методі завдяки невеликій зміні коефіцієнтів менше спотворюється зображення внаслідок вбудовування ЦВЗ з точки зору візуального сприйняття;
- використання НЧ коефіцієнтів робить ЦВЗ більш стійким до компресії зображення-контейнера;

- завдяки тому, що згідно методу не виконується ДКП, яке вимагає найбільшої кількості математичних операцій, а тільки декілька етапів алгоритму JPEG, даний метод забезпечує більш швидший процес вбудовування.

### **Висновки**

Таким чином запропоновано стеганографічний метод захисту авторських прав в зображеннях формату JPEG за допомогою цифрових водяних знаків. Даний метод вбудовує ЦВЗ в частотну область зображення шляхом зміни коефіцієнтів дискретного косинус-перетворення. Принцип зміни значень коефіцієнтів та ряд умов що накладаються для визначення прийнятних для вбудовування блоків та коефіцієнтів забезпечує ряд переваг над існуючими методами. Запропонований метод забезпечує: надійний захист ЦВЗ при спотворенні чи зміні зображення-контейнера; стійкість ЦВЗ до ущільнення зображення згідно алгоритму JPEG; менший вплив ЦВЗ на якість зображення.

### **Література**

1. В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.Є. Шелест, Ю.Є. Яремчук. Основи комп'ютерної стеганографії. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 143 с.
2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 288с.
3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г.Цифровая стеганография.СПб.:ВУС, 2002.
4. Д.С. Ватолин. Алгоритмы сжатия изображений. Методические материалы к спецкурсу ВМиК МГУ “Машинная графика-2”. Под руководством Ю.М. Баяковского. Издательский отдел факультета Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ им. М.В.Ломоносова, 1999 р., 76 с.
5. Darmstaedter V., Delaigle J.-F., Quisquater J., Macq B. Low cost spatial watermarking // Computers and Graphics. 1998. Vol. 5. P. 417-423.
6. Langelaar G., Lagendijk R., Biemond J. Robust labeling methods for copy protection of images // Proc. of the SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases V. 1997. Vol. 3022.
7. Taubman D., Ordentlich E., Weinberger M., Seroussi G. Embedded block coding in JPEG 2000 // Signal Processing: Image Communication. 2002. №17. P. 49-72.