

ЗАВАДОСТІЙКИЙ МЕТОД ВБУДОВУВАННЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКУ У ЗОБРАЖЕННЯ

К. т. н. А. В. Садченко, О. А. Кушніренко, к. т. н. О. В. Троянський,
Н. П. Кушніренко, О. В. Садченко

Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
koa@op.edu.ua

Запропоновано стійкий до видалення найменшого значущого біта алгоритм вбудовування бінарного цифрового водяного знаку в зображення без втрати якості. Водяним знаком може слугувати також прихована інформація, що описує медичні зображення, такі як рентгенографія, томографія тощо. Вбудовується цифровий водяний знак шляхом кратного збільшення масштабу зображення контейнера та модифікації значень додаткових пікселів.

Ключові слова: зображення, цифровий водяний знак, контейнер, найменш значущий біт, додаткові пікселі.

Цифрові водяні знаки (ЦВЗ, англійською DWM — Digital watermark) широко використовуються для захисту авторських прав та підтвердження справжності різного виду графічних матеріалів, наприклад документів, а також для додавання прихованої інформації [1], наприклад діагнозу, який зберігається спільно з медичним зображенням.

Найбільш простим з погляду технічної реалізації є метод вбудовування ЦВЗ у найменш значущий біт (LSB) яскравості пікселя зображення [2, 3]. Основний недолік цього методу полягає в його низькій стійкості до видалення чи підробки. Для видалення ЦВЗ досить обнулити всі «нульові» біти чи присвоїти їм випадкові (шумові) значення [4].

У цій роботі розроблено метод занурення ЦВЗ у зображення, стійкого до модифікації найменш значущих бітів, що кодують яскравість пікселів.

Введемо низку припущень.

ЦВЗ являє собою двовимірний бінаризований масив $C[m \times n]$ такий, що число рядків $m \leq m_i$ число стовпців $n \leq n_i$, де m_i, n_i — число рядків і стовпців зображення, до якого вбудовується ЦВЗ. Контейнер або модифіковане зображення I також є двовимірним масивом $I[m_i \times n_i]$ у градаціях сірого. Якщо необхідно модифікувати кольорове зображення, алгоритм додавання ЦВЗ можна застосувати до кожного каналу кольору окремо.

Пропонується такий алгоритм вбудовування бінаризованого ЦВЗ.

Крок 1. Збільшуємо розмір (простір) оригінального зображення $I[m_i \times n_i]$ у 4-і рази шляхом додавання пікселів з нульовою яскравістю в рядки та стовпці за правилом:

```
for x=1:VR (Число стовпців)
    for y=1:HR (Число рядків)
        Inew(2*x-1, 2*y-1)=I(x, y);
        Inew(2*x, 2*y)=0;
    end
end
```

В результаті отримуємо масив $I_{\text{new}} [2m_i \times 2n_i]$

Крок 2. Замінюємо всі отримані нульові елементи масиву I_{new} середнім значенням яскравості всіх сусідніх пікселів.

Крок 3. Здійснюємо пошук ділянки зображення контейнера, середня яскравість пікселів якої максимально близька до $I_{\text{max}}/2$, де I_{max} — максимальна яскравість пікселів зображення.

Крок 4. Додаємо ЦВЗ шляхом поелементного підсумовування яскравостей пікселів зображення, що знаходяться на додаткових позиціях з масивом яскравостей пікселів ЦВЗ.

Алгоритм вилучення ЦВЗ полягає в обчисленні середніх значень пікселів зображення на ділянці розташування ЦВЗ та поелементному відніманні середнього значення яскравості пікселя з поточного.

Роботу алгоритму продемонстровано на рис. 1 – 4.

До оригінального зображення на рис. 1 додаємо ЦВЗ із градаціями сірого й отримуємо зображення на рис. 2. При використанні бінарного ЦВЗ водяний знак становиться прихованим на фоні контейнера (рис. 3), а результат його вилучення згідно з алгоритмом представлено на рис. 4, де зображено витягнуту приховану інформацію.

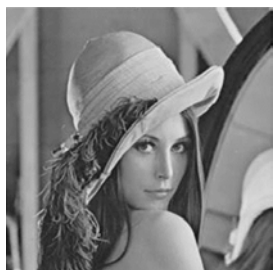


Рис. 1. Оригінальне зображення в градаціях сірого з роздільною здатністю 256×256 пікселів



Рис. 2. Зображення із збільшенням масштабу до 512×512 пікселів із накладенням ЦВЗ 256×256 пікселів (градації сірого)

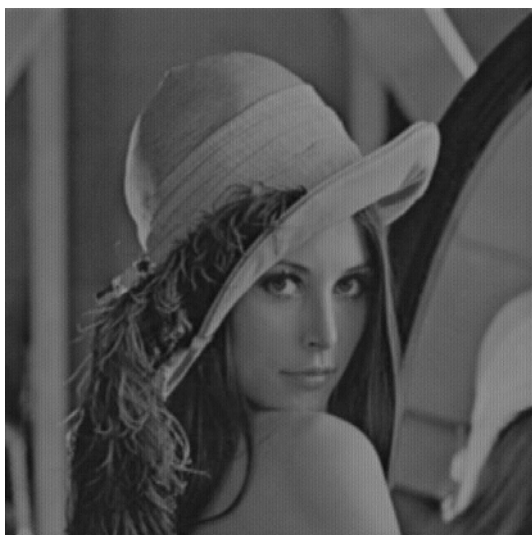


Рис. 3. Зображення із збільшенням масштабу до 512×512 пікселів із накладенням бінарного ЦВЗ 256×256 пікселів



Рис. 4. Витягнутий бінарний ЦВЗ 256×256 пікселів

Очевидно, що алгоритм вбудовування водяних знаків у найменші значні біти зображення не має стійкості до видалення ЦВЗ у разі обнуління або зашумлення молодших бітів.

У запропонованому алгоритмі вбудовування пікселя ЦВЗ до складу контейнера відбувається відносно додаткового пікселя усередненої яскравості у рядку згідно з правилом

$$I_L + I_{DWM} = \{I_{L-1} + I_{L+1}\}/2 + I_{DWM},$$

де L — порядковий номер стовпця зображення контейнера; I_L — вихідна яскравість пікселя зображення; I_{DWM} — яскравість пікселя ЦВЗ.

З метою підвищення стійкості водяного знаку до видалення з контейнера вбудований бінарний ЦВЗ має яскравість пікселів $B_{\min}$ і $B_{\max}$ такими, що $B_{\max} > B_{\min}$.

Розглянемо стійкість ЦВЗ до видалення найменшого значущого біта зображення контейнера при $B_{\min} = 0$ та $B_{\max} = 1$.

Нехай $I_{L-1} = I_{L+1} = 127$.

Для $B_{\min} = 0$ — $I_L = 127$, $B_{\max} = 1$ — $I_L = 128$.

При видаленні LSB врахуємо, що число 127 у бінарному вигляді $1111111b$ перейде до числа $1111110b$ або 126 у десятковій формі, а число 128 у бінарному вигляді має вигляд $10000000b$ й, отже, не зміниться при обнуленні молодшого біта.

Тоді:

- для вбудованого $B_{\min} = 0$: $I_L - 1 = 126$, $I_L + 1 = 126$, $I_L = 126$.
Вилучений біт: $126 - (126 + 126)/2 = 0$, тобто спотворення нульового біта відсутнє.
- для вбудованого $B_{\max} = 1$: $I_L - 1 = 126$, $I_L + 1 - 1 = 126$, $I_L = 128$.
Вилучений біт: $128 - (126 + 126)/2 = 2 > 0$, тобто спотворення одиничного біта відсутнє.

Запропонований алгоритм вбудовування ЦВЗ дозволяє адаптивно, у процесі вбудовування, збільшувати стійкість до стирання чи спотворення інформації, яка міститься в ЦВЗ, не погіршує при цьому якість зображення контейнера, оскільки вбудовування відбувається не в значущі, а в «додаткові» пікселі зображення.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Xuehua J. Digital watermarking and its application in image copyright protection. *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, China, Changsha, 2010, p. 114–117. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2010.625>
2. Thangadurai K., Devi G. Sudha. An analysis of LSB based image steganography techniques. *2014 International Conference on Computer Communication and Informatics*, India, Coimbatore, 2014, p. 1–4, <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2014.6921751>.
3. Садченко А.В. Кушніренко О.А. Модифікований адитивний метод вбудови цифрового водяного знаку. *Труди 21-ї МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології»*, Україна, Одеса, 2020, с. 21–23.
4. Sadchenko A., Kushnirenko O., Plachinda O. Fast lossy compression algorithm for medical images. *2016 International Conference on Electronics and Information Technology (EIT)*, Ukraine, Odessa, 2016, p. 1–4, <https://doi.org/10.1109/ICEAIT.2016.7500995>

A. V. Sadchenko, O. A. Kushnirenko, O. V. Troyanskiy, N. P. Kushnirenko, O. V. Sadchenko

Noise-resistant method for embedding a digital watermark into an image

An algorithm that is resistant to the removal of the least significant bit is proposed for embedding a binary digital watermark into an image without loss of quality; hidden information describing medical images such as radiography, tomography can also act as a watermark. Embedding a digital watermark is done by multiplying the image scale of the container and modifying the values of additional pixels.

Keywords: digital watermark, container, distortion of information.
