

АЛГОРИТМ ВБУДОВУВАННЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА В АУДИО-ТА ВІДЕОКОМПОНЕНТИ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ФАЙЛУ

К.С. Чабаненко, Н.І. Кушніренко, В.В. Подуфалов

Національний університет «Одеська політехніка»
1, Шевченко пр., Одеса, 65044, Україна
Emails: chabanenkoksenia3@gmail.com, kushnirenko@op.edu.ua

У статті розглянуто застосування цифрових водяних знаків (ЦВЗ) як ефективного засобу захисту мультимедійних файлів. Описано основні методи вбудовування ЦВЗ, зокрема просторовий метод заміни найменш значущого біта та частотні підходи, зокрема дискретне Фур'є перетворення (ДФП), дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) та дискретне косинусне перетворення (ДКП). Запропоновано алгоритм вбудовування ЦВЗ у відеофайл, який використовує як відеокадри, так і аудіодоріжку вхідного файлу в якості контейнера для прихованої інформації. Алгоритм ґрунтується на застосуванні методу Коха-Жао для модифікації частотних коефіцієнтів, отриманих у результаті застосування ДКП, а також криптографічної хеш-функції HMAC-SHA256 для генерації цифрового водяного знака на основі повідомлення-ключа користувача. Описано послідовність реалізації методу: розділення відеофайлу на кадри та аудіоблоки, генерація вибірки блоків на основі довжини повідомлення-ключа та загальної кількості блоків, частотне перетворення вибраних сегментів, формування та вбудовування ЦВЗ. Вбудовування здійснюється лише у фрагменти з порядковими номерами, кратними параметру, що обчислюється на основі довжини ключа та загальної кількості блоків. Розроблений алгоритм реалізовано у вигляді веб-застосунку, що дозволяє виконувати як вбудовування, так і перевірку цифрового водяного знака. Якість зображення та звуку після вбудовування оцінено за допомогою метрик PSNR, SSIM та SNR. Результати експериментів підтвердили збереження високого рівня візуального та аудіального сприйняття. Запропонований алгоритм має перспективи практичного застосування в системах захисту авторських прав, моніторингу цілісності контенту та цифрової ідентифікації мультимедійних даних. Водночас, з огляду на поточний етап апробації, доцільним є проведення додаткових експериментальних досліджень для оцінки його стійкості, масштабованості та ефективності у різних прикладних умовах.

Ключові слова: стеганографія, цифровий водяний знак, дискретне косинусне перетворення, HMAC, мультимедійні дані, захист інформації.

Вступ. Із розвитком інтернет-технологій процес цифровізації охоплює дедалі більше сфер людської діяльності – від особистої комунікації до промисловості, торгівлі та систем безпеки. Перенесення інформації в цифрове середовище забезпечує її зручну доступність, однак водночас підвищує ризики, пов'язані з несанкціонованим доступом, копіюванням, піддробкою або знищенням даних. У контексті відкритого доступу до мережі Інтернет мультимедійний контент, який відіграє провідну роль у цифровому середовищі, є особливо вразливим. З метою захисту авторських прав, підтвердження автентичності, протидії фальсифікаціям і маніпуляціям, а також для забезпечення доказової бази в юридичних спорах, широко застосовується технологія вбудовування цифрових водяних знаків (ЦВЗ) [1].

Стаття присвячена дослідженню застосування цифрових водяних знаків як засобу захисту мультимедійних файлів. У ній запропоновано алгоритм вбудовування ЦВЗ, що використовує в якості стеганоконтейнера як відеоряд, так і аудіосупровід відеофайлу. У роботі [2] розглянуто модифікований метод заміни найменш значущого біта, що застосовується для вбудовування у вибрані кадри відео, визначені на основі максимальної абсолютної різниці гістограм між сусідніми кадрами. Аналогічний підхід можна застосовувати для вбудовування у частотному домені, як це представлено в

роботі [3]. Окрім методів вбудовування у піксельну інформацію відео у просторовому та частотному доменах, також досліджуються методи вбудовування цифрового водяного знака у вектори руху кадрів відеопотоку, як запропоновано в роботі [4]. На відміну від підходів, описаних у роботах [5,6], розроблений у межах цього дослідження алгоритм реалізує вбудовування ЦВЗ у частотну область як відеокадрів, так і аудіоблоків відеофайлу, отриману за допомогою дискретного косинусного перетворення.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення ефективності захисту авторських прав на мультимедійний контент шляхом розробки алгоритму комбінованого вбудовування цифрового водяного знака у відеоряд та аудіодоріжку відеофайлу.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести дослідження існуючих методів вбудовування цифрових водяних знаків у мультимедійні файли, визначити їх переваги, недоліки та особливості застосування;
- розробити алгоритм комбінованого вбудовування цифрового водяного знака у відеофайл (відеокадри та аудіодоріжку);
- реалізувати запропонований алгоритм програмно та провести його експериментальне тестування.

Основна частина. Методи для вбудовування цифрових водяних знаків за способом обробки даних розділяються на просторові та частотні. Одним із найпоширеніших просторових методів є метод заміни найменш значущого біта (НЗБ), який застосовується для різних типів контейнерів – зображень, аудіо- та відеофайлів. Його суть полягає у безпосередній заміні найменш значущих бітів оригінальних даних на біти цифрового водяного знака (див. рисунок 1).

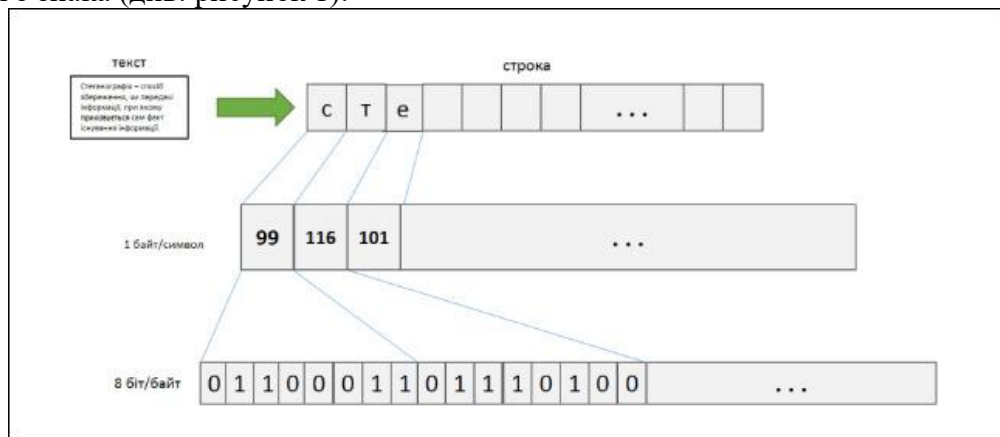


Рис. 1. Схема вбудовування за методом НЗБ

Метод відзначається простотою реалізації та може бути ефективно використаний в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. До основних недоліків методу заміни найменш значущого біта відносять низьку стійкість до зовнішніх впливів, зокрема до зашумлення, стиснення, обрізання та масштабування, що робить його менш надійним у порівнянні з частотними методами, які забезпечують вищий рівень збереження водяного знака після атак або обробки мультимедійного контенту [1].

До основних частотних методів обробки вхідних даних належать дискретне перетворення Фур'є, дискретне вейвлет-перетворення, дискретне косинусне перетворення та їхні модифікації, зокрема у вигляді гібридних підходів, що поєднують кілька типів перетворень з метою підвищення ефективності вбудовування.

Частотні методи дозволяють ефективно розподіляти водяний знак у менш помітних для людського сприйняття частинах сигналу, що мінімізує ймовірність його виявлення або видалення, збільшують стійкість до атак, таких як стиснення, шумові перешкоди, масштабування, обрізання тощо.

Загальна схема вбудовування у частотну область представлена на рисунку 2.

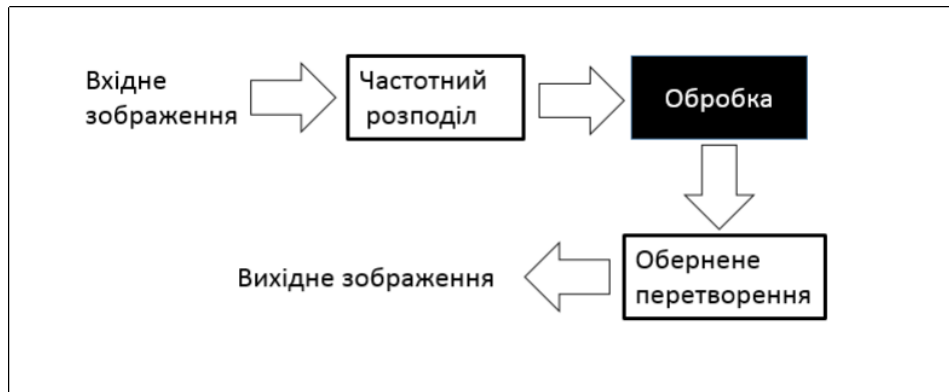


Рис.2. Схема вбудовування ЦВЗ в частотну область

Дискретне перетворення Фур'є здійснює перетворення сигналу або зображення у частотну область, представляючи його як суму синусоїд і косинусоїд різної частоти [7]. Завдяки цьому можливо вбудовувати водяний знак у спектральні компоненти, які є менш чутливими до атак. Водночас, через глобальність перетворення кожен елемент водяного знака впливає на всю структуру зображення, що знижує локалізацію та обмежує гнучкість. Крім того, ДПФ є обчислювально складним методом.

Дискретне вейвлет-перетворення, на відміну від ДПФ, забезпечує мультироздільний аналіз зображення завдяки поетапній декомпозиції сигналу на піддіапазони різної частоти та орієнтації: LL (низькочастотний компонент), LH, HL та HH (високочастотні компоненти) [8]. Завдяки локальній обробці даних та відповідності до особливостей людського зору, ДВП дозволяє ефективно вбудовувати водяні знаки в низькочастотну область, забезпечуючи стійкість до типових атак.

Серед частотних методів слід відзначити дискретне косинусне перетворення, яке характеризується порівняно низькою обчислювальною складністю. ДКП є універсальним методом обробки сигналів, який застосовується як для зображень, так і для аудіо, забезпечуючи оптимальне співвідношення між продуктивністю та якістю результату. Завдяки зазначеним перевагам цей метод було обрано для реалізації в рамках розробленого алгоритму.

Для кадрів відео використовується формула двовимірного перетворення:

$$C(u, v) = \frac{1}{4} \cdot \alpha(u) \cdot \alpha(v) \cdot \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cdot \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{16} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{16} \right], \quad (1)$$

де $f(x, y)$ – значення пікселя в координатах x, y в блоці, $C(u, v)$ – ДКП-коефіцієнти у частотному просторі на позиції (u, v) , x, y – просторові координати вхідного блоку (пікселі), u, v – частотні координати – індекси вихідного ДКП, $\alpha(u), \alpha(v)$ – нормалізаційні коефіцієнти. Для аудіосигналу застосовують формулу одновимірного ДКП:

$$C(u) = a(u) \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right], \quad (2)$$

де $f(x)$ – значення амплітуди аудіосигналу в точці x , $C(u)$ – ДКП-коефіцієнти, N – довжина блоку, $a(u)$ – нормалізаційний коефіцієнт [9].

Результатом перетворення сигналу є набір частотних коефіцієнтів, які можна поділити на три основні піддіапазони:

- низькочастотні – великі контури, основні переходи між різними областями зображення, такі як зміни фону чи основні геометричні форми;
- середньочастотні – текстури та краї об'єктів, а також деталі середнього рівня;
- високочастотні – мікроструктури та різкі переходи між областями зображення, містять інформацію про дрібні деталі.

Для покращення точності перетворення зображення розбивають на блоки розміром 8×8 пікселів. Блок зображення після застосування ДКП наведено на рисунку 3.

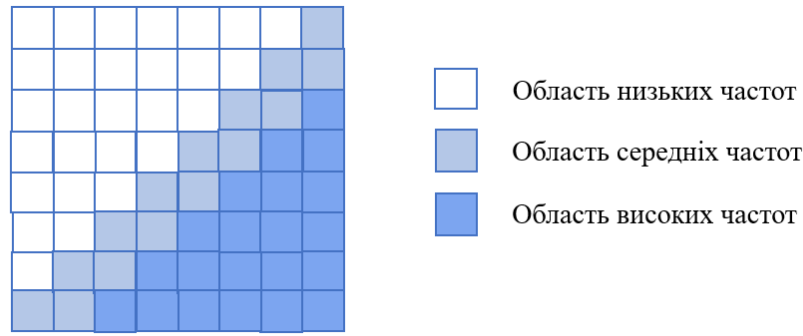


Рис.3. Блок зображення після застосування ДКП

Запропонований в роботі алгоритм вбудовування ЦВЗ в відеофайл складається з таких етапів:

- 1) розподіл відео на аудіодоріжку та кадрові складові;
- 2) ініціалізація псевдовипадкового числа за текстовим ключем;
- 3) вибір кадрів/семплів та блоків на основі псевдовипадкової вибірки;
- 4) перетворення обраних фрагментів у частотну область методом ДКП;
- 5) вбудовування ЦВЗ за модифікованим методом Коха-Жао.

На початковому етапі вихідний відеофайл піддається розділенню на дві основні компоненти: відеокадри та аудіодоріжку. У результаті формуються два окремих набори даних: перший складається з послідовності кадрів (зображень), а другий – з аудіосигналу, який розділяється на блоки по 1024 семпли кожен. Для вбудовування використовуються лише вибрані фрагменти мультимедійного контенту – кадри та аудіоблоки, порядкові номери яких кратні числовому ключу, що розраховується за формулою:

$$R = \min + (N \bmod (\max - \min) + 1), \quad (3)$$

де R – псевдовипадкове число в межах діапазону $[\min, \max]$, N – кількість символів повідомлення-ключа; \min , \max – мінімальне та максимальне значення діапазону, в якому генерується число. Мінімальне значення дорівнює 1, а максимальне обчислюється за формулою:

$$\max = \frac{M_{audio} + M_{frames}}{256}, \quad (4)$$

де M_{audio} – кількість блоків аудіо, M_{frames} – кількість кадрів у відео.

Повідомлення-ключ – це текстове повідомлення (символьна послідовність), що задається користувачем (автором або розпорядником контенту). Воно використовується як складова частина самого цифрового водяного знака, тоді як числове значення, отримане шляхом підрахунку кількості його символів, застосовується для формування псевдовипадкового ключа. Цей ключ, у свою чергу, визначає закономірність вибірки блоків для вбудовування цифрового водяного знака (див. рисунок 4).

Застосування лише обраних за ключем кадрів та аудіоблоків забезпечує рівномірний розподіл цифрового водяного знака та мінімізує вплив на якість мультимедійного контенту.

Оскільки аудіосигнал та відеокадри обробляються окремо, використання одного й того самого ключа R для обох типів медіа не створює жодних проблем. Вибірки аудіо- та відеоданих є незалежними одна від одної: N -й елемент аудіосигналу та N -й елемент вибірки кадрів не мають прямого зв'язку або взаємозалежності.

Таким чином, застосування однакового ключа для обох типів даних дозволяє уникнути перетину, знижує загальну складність алгоритму, одночасно забезпечуючи достатню стійкість ЦВЗ.

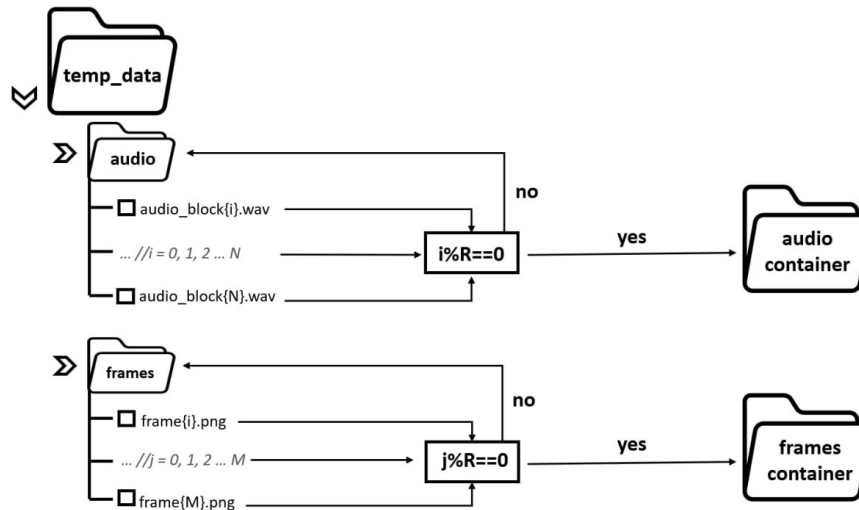


Рис. 4. Схема створення вибірки файлів для вбудовування

Такий підхід є універсальним і може бути застосований для вбудовування цифрових водяних знаків різного змісту – від ідентифікаційних кодів до контрольних сум, що використовуються для перевірки автентичності або цілісності медіаконтенту.

У межах запропонованого алгоритму в якості цифрового водяного знака використовується хеш відеофайлу, згенерований за допомогою алгоритму HMAC із застосуванням криптографічної хеш-функції SHA-256.

Алгоритм HMAC реалізується шляхом послідовного виконання операцій, що забезпечують генерацію хешу на основі двох вхідних параметрів: ключа та повідомлення. У межах розробленого підходу в якості ключа використовується текстове повідомлення-ключ, задане автором або розпорядником контенту, а в якості вхідного повідомлення – сам відеофайл.

Перед вбудовуванням вхідні дані, а саме вибрані кадри та аудіоблоки, піддаються додатковій обробці. Для кадрів ця обробка включає отримання значень яскравості зображення шляхом перетворення його з моделі RGB у простір YCbCr, де використовується лише компонента яскравості (Y), яка найбільш чутлива для людського ока. Такий підхід дозволяє досягти високої якості зображення навіть після модифікацій.

Для аудіоданих передбачене розділення сигналу на два канали (стереофонічного сигналу), з яких лише один модифікується відповідно до алгоритму вбудовування. Другий канал залишається незмінним, що дозволяє після обробки об'єднати їх назад у стереосигнал і зберегти високу якість звучання. Такий підхід мінімізує можливі спотворення та забезпечує акустичну цілісність кінцевого файлу.

Вбудовування виконується за методом Коха-Жао шляхом модифікації співвідношення абсолютних значень обраних коефіцієнтів згідно з бітовим значенням [10]. Для вбудовування одного біта цифрового водяного знаку з кожного блоку обирається пара середньочастотних коефіцієнтів. Це зумовлено тим, що низькочастотні коефіцієнти містять найважливішу інформацію про загальну структуру, а високочастотні – менш стійкі до атак. За замовченням один вхідний блок може містити один біт значення ЦВЗ. Якщо необхідно вбудувати біт 0, забезпечується умова:

$$|C_1| - |C_2| > T, \quad (5)$$

Якщо ж вбудовується біт 1, виконується умова:

$$|C_1| - |C_2| < -T, \quad (6)$$

де T – заздалегідь заданий поріг, C_1 та C_2 – коефіцієнти.

Після модифікації для кадрів та аудіоблоків застосовується зворотне дискретне косинусне перетворення (ЗДКП) за формулою:

$$x_{m,n} = a_m a_n \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} X_{k,l} \cos \left[\frac{\pi}{M} \left(m + \frac{1}{2} \right) k \right] \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) l \right], \quad (7)$$

де $x_{m,n}$ – піксель або значення сигналу в просторі після зворотного перетворення, $X_{k,l}$ – коефіцієнти ДКП для кожного блоку сигналу, a_m, a_n – коефіцієнти масштабування для кожного індексу, M, N – розміри блоку, m, n – просторові індекси для відновлення сигналу. Для блоків аудіо аналогічно виконується одновимірне ЗДКП. Метою цього перетворення є відновлення просторового або часово-просторового представлення мультимедійних даних. ЗДКП дозволяє перетворити частотні коефіцієнти назад у значення пікселів (для зображень або відео) або амплітуди семплів (для аудіо), відтворюючи таким чином оригінальний сигнал з урахуванням змін, внесених у процесі вбудовування цифрового водяного знака.

Ключовим аспектом цих змін є вибір порогу вбудовування T , що визначає ступінь модифікації коефіцієнтів. Значення порогу вбудовування є критичним параметром, оскільки воно безпосередньо впливає на стійкість і непомітність цифрового водяного знака. Надто мале значення призводить до нестабільного вбудовування, тоді як надмірно велике – до візуально помітних спотворень контенту. Оптимальне значення порогу визначається експериментально залежно від типу контейнера, характеру очікуваних атак та вимог до якості вихідного мультимедійного файлу.

Оскільки запропонований алгоритм передбачає незалежну обробку відеокадрів та аудіоблоків, для визначення оптимального порогу вбудовування було проведено два окремих експериментальних дослідження: перше – для оцінки впливу порогу на якість відеозображення, друге – для аналізу його впливу на якість аудіосигналу.

Для оцінки якості аудіо була використана метрика SNR (Signal-to-Noise Ratio) – відношення сигналу до шуму, що визначається за формулою:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{a=1}^M Z^2(a)}{\sum_{a=1}^M (Z(a) - Z'(a))^2} \right), \quad (8)$$

де $Z(a)$ – вихідний звуковий сигнал, $Z'(a)$ – аудіосигнал із водяним знаком, M – кількість семплів в обох аудіосигналах.

Для вбудовування використовувалася пара коефіцієнтів із порядковими номерами 225 та 250, визначена експериментально. Для встановлення оптимальних параметрів проводилося вбудовування цифрового водяного знака із застосуванням пар коефіцієнтів у діапазоні від 150 до 350 з кроком 25. Пара 225 та 250 демонструвала стабільно високі значення показника SNR для всіх тестових файлів, як це показано на рисунку 5.

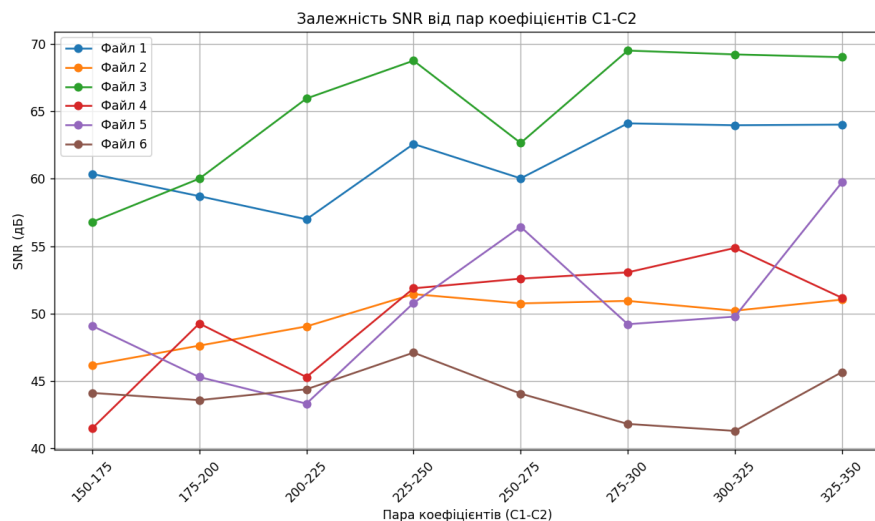


Рис. 5. Графік впливу частотних коефіцієнтів на якість ЦВЗ

Ці коефіцієнти належать до середньочастотного діапазону спектра ДКП та забезпечують оптимальний компроміс між непомітністю змін для сприйняття людиною та стійкістю вбудованого знака до атак. Водночас варто зазначити, що хоча дана пара є ефективною для більшості типових аудіо- та відеофайлів, вибір оптимальної пари коефіцієнтів може потребувати адаптації для конкретного мультимедійного сигналу з урахуванням його частотно-енергетичної структури.

Результати дослідження впливу порогу вбудовування T на якість аудіо показані в таблиці 1. Дані наведені для шести аудіофайлів (A1-A6). У більшості випадків варіації SNR не перевищують кількох децибел, що свідчить про мінімальний вплив параметра T на якість відновленого сигналу.

Таблиця 1.

Результати дослідження впливу порогу вбудовування T на якість аудіо

Параметр T	A1	A2	A3	A4	A5	A6
$T=1$	62.736	51.686	68.843	51.923	50.798	47.272
$T=1.5$	62.712	51.649	68.826	51.917	50.796	47.238
$T=2$	62.686	51.614	68.811	51.908	50.793	47.231
$T=2.5$	62.660	51.567	68.796	51.899	50.790	47.192
$T=3$	62.633	51.519	68.779	51.890	50.788	47.175
$T=3.5$	62.593	51.482	68.762	51.883	50.786	47.139
$T=4$	62.572	51.445	68.747	51.875	50.784	47.107
$T=4.5$	62.542	51.410	68.732	51.867	50.781	47.076
$T=5$	62.518	51.378	68.713	51.859	50.779	47.015
$T=5.5$	62.469	51.345	68.698	51.849	50.777	46.929
$T=6$	62.378	51.309	68.682	51.840	50.774	46.869
$T=6.5$	62.296	51.276	68.663	51.831	50.772	46.811
$T=7$	62.230	51.236	68.646	51.819	50.769	46.755
$T=7.5$	62.156	51.196	68.632	51.809	50.767	46.699
$T=8$	62.092	51.155	68.616	51.801	50.764	46.664
$T=8.5$	62.035	51.119	68.599	51.791	50.762	46.625
$T=9$	61.970	51.066	68.584	51.784	50.760	46.575

Наприклад, для файлу A1 рівень SNR змінюється незначно — з 62,736 дБ до 61,970 дБ при збільшенні порогу T від 1 до 9, що демонструє слабкий ефект порогової зміни.

Для оцінки якості зображення після вбудовування цифрового водяного знака було використано іншу метрику – PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio). Ця метрика визначає відношення максимальної потужності сигналу (пікового значення) до потужності шуму, що вноситься під час обробки, та обчислюється за формулою:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right), \quad (9)$$

де MAX – максимальне значення пікселю, MSE – середньоквадратичне відхилення [5].

На основі отриманих результатів було встановлено, що зі зростанням порогу вбудовування T спостерігається поступове зниження показника PSNR для всіх типів зображень. PNG-зображення (P1, P2) демонструють значно вищу стійкість до спотворень, ніж JPEG-зображення (P3–P6), що обумовлено менш агресивною природою формату PNG.

Це свідчить про доцільність використання форматів без втрат при вбудовуванні ЦВЗ, особливо у випадках, коли важливо зберегти високу якість візуального сприйняття. В ході аналізу вбудовування виконувалося в середньочастотні компоненти блоків зображення з індексами [4,1] та [3,2]. Результати дослідження впливу порогу вбудовування на якість зображень показана на рисунку 6.

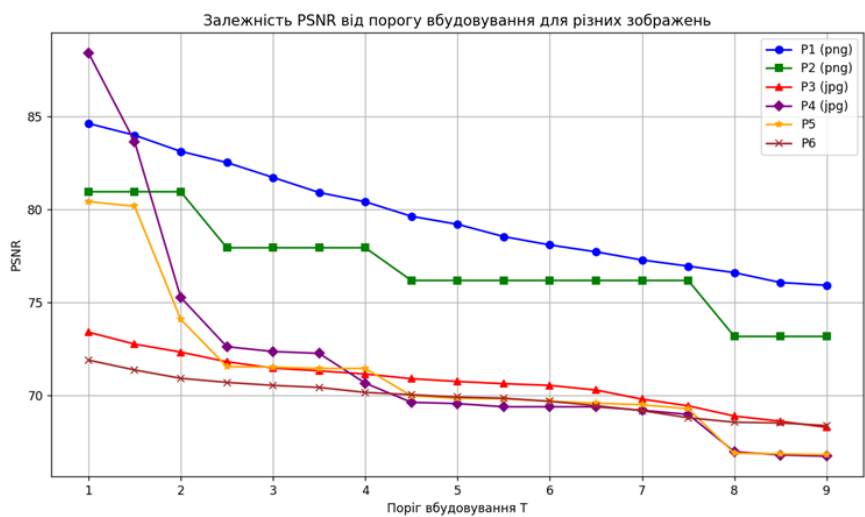


Рис. 6. Графік залежності якості ЦВЗ від порогу вбудовування

Для реалізації розробленого алгоритму у веб-застосунку було обрано порогове значення T , що дорівнює 4. Для оцінки розробленого алгоритму були використані вже описані метрики PSNR, SNR, а також метрика SSIM (structural similarity index measure).

Результати оцінювання ефективності реалізації запропонованого алгоритму демонструють достатньо високу якість відеофайлів після вбудовування цифрового водяного знака (див. таблицю 2).

Таблиця 2.

Результати оцінки ефективності реалізації запропонованого алгоритму

Номер відеофайлу	PSNR	SNR	SSIM
1	45,30	29,23	0,9887
2	41,71	32,21	0,9796
3	43,47	21,73	0,9754
4	41,58	31,57	0,9841
5	39,91	29,29	0,9771

Значення PSNR перевищують 39 дБ, SSIM – понад 0.97, що свідчить про незначні візуальні спотворення, а рівень SNR у більшості випадків становить понад 29 дБ, що вказує на збереження акустичної якості.

Висновки. У цій статті розглянуто застосування цифрових водяних знаків для захисту мультимедійних файлів. Проаналізовано сучасні методи вбудовування ЦВЗ у просторовій та частотній областях, а також окреслено переваги застосування дискретного косинусного перетворення для підвищення стійкості та непомітності водяного знака. Запропоновано алгоритм вбудовування ЦВЗ у відеофайл, що використовує як стеганоконтейнер кадри та аудіодоріжку, реалізований шляхом модифікації частотних компонентів за методом Коха-Жао у частотній області, отриманий внаслідок застосування ДКП.

Особливістю запропонованого підходу є використання одного текстового ключа для генерації ЦВЗ за допомогою HMAC-SHA256, а також для формування псевдовипадкової вибірки блоків для модифікації. Результати експериментальної оцінки за метриками PSNR, SSIM та SNR свідчать про допустиме погіршення якості відео після вбудовування, що дозволяє зробити висновок про непомітність цифрового водяного знака для кінцевого користувача.

Водночас питання стійкості вбудованого ЦВЗ до типових атак, таких як стиснення, масштабування, зміна формату тощо, потребує окремого аналізу. У

подальших дослідженнях доцільно провести розширене тестування алгоритму з метою оцінки його надійності та стійкості в умовах реальних загроз.

Реалізація алгоритму у вигляді веб-застосунку підтверджує його практичну придатність і потенціал для подальшого вдосконалення та адаптації до різних типів мультимедійного контенту.

Список літератури

1. Зубко І. С., Мартовицький В. О., Пунченко А. В., Карачевцев Д. Д. Огляд методів нанесення цифрових водяних знаків для захисту зображень. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2024. № 3. С. 121–125. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.3.121.
2. Kadhim, I. J., Premaratne, P., Alwan, Z. A. Invisible Video Watermarking Based on Frame Selection and LSB Embedding. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. 2024. Vol.17, №3. P.41-53. DOI: 10.22266/ijies2024.0630.04
3. Md. Asikuzzaman, M. Pickering. An Overview of Digital Video Watermarking. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2017. P. 1-24. DOI: 10.1109/TCSVT.2017.2712162
4. Салієва О., Грицак А., Гуменюк В., Білик О. Удосконалення стеганографічного методу вбудовування крихких водяних знаків для підвищення захищеності потокового відео від несанкціонованої модифікації. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2023. № 75. С. 197–205. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-75-23>.
5. A. Al-Gindy, A. Omar, O. Mashal, Y. Shaker, E. Alhogaraty, S. Moussa. A new watermarking scheme for digital videos using DCT. *Open Computer Science*. 2022. P. 248-259. DOI: 10.1515/comp-2022-0238.
6. Zhou M., Kuchuk N., Grynov D. A robust method for embedding and extracting watermarks in video using discrete cosine transform. *Control, Navigation and Communication Systems*. 2024. № 3. P. 166-169. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.3.166.
7. Ramakrishnan S. Digital image and video watermarking and steganography. London : IntechOpen, 2019. 75 p.
8. Jabbar K.K., Tuieb M.B. Compare between DCT and DWT for digital watermarking in color image. *Information and Knowledge Management*. 2015. Vol. 5, No. 7. P. 22–32.
9. Kanhe A., Gnanasekaran A. Robust image-in-audio watermarking technique based on DCT-SVD transform. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*. 2018. №16. 12 p. DOI: 10.1186/s13636-018-0139-3.
10. Шостак Н. В. Аналіз характеристик алгоритмів вбудовування цифрового водяного знаку на тлі атак і завад у каналах зв'язку. *Проблеми телекомунікацій*. 2019. № 1 (24). С. 34–50. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2019.1.03>.

AN ALGORITHM FOR EMBEDDING A DIGITAL WATERMARK INTO AUDIO AND VIDEO COMPONENTS OF A MULTIMEDIA FILE

K.S. Chabanenko, N.I. Kushnirenko, V. Podufalov

National Odesa Polytechnic University
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

Emails: chabanenkoksensia3@gmail.com, kushnirenko@op.edu.ua

This article examines the application of digital watermarks as an effective means of protecting multimedia files. It describes the main watermarking methods, including the spatial approach of least significant bit replacement, as well as frequency-domain techniques such as discrete Fourier transform (DFT), discrete wavelet transform (DWT), and discrete cosine transform (DCT). An algorithm for embedding a digital watermark into a video file is proposed, which utilizes both the video frames and the audio track of the input file as a container for hidden information. The algorithm is based on the Koch–Zhao method for modifying frequency coefficients obtained through DCT, as well as on the cryptographic HMAC-SHA256 function for generating the digital watermark based on the user-specified message key. The implementation sequence is described: splitting the video file into frames and audio blocks, generating a block selection pattern based on the length of the message key and the total number of blocks, frequency-domain transformation of the selected segments, and finally, formation and embedding of the mark. The embedding is performed only into fragments with ordinal numbers that are multiples of a parameter computed based on the key length and the total number of blocks. The developed algorithm has been implemented as a web application, which allows both embedding and verification of the digital watermark. The image and audio quality after embedding were assessed using PSNR, SSIM, and SNR metrics. Experimental results confirmed the preservation of a high level of visual and auditory perception. The proposed algorithm has promising practical applications in systems for copyright protection, content integrity monitoring, and digital identification of multimedia data. At the same time, given the current stage of testing, it is advisable to conduct additional experimental studies to assess its robustness, scalability, and efficiency under various application conditions.

Keywords: steganography, digital watermark, discrete cosine transform, HMAC, multimedia data, information protection.