Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп’ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Метод нанесення водяних знаків на зображення в градаціях сірого за допомогою одновимірного кодування Уолша
(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПм-22-6

Карачевцев Д.Д
(прізвище, ініціали)

Спеціальність

123 «Комп’ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Ільїна І.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ _____ Коваленко А.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп’ютерної інженерії та управління

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 «Комп’ютерна інженерія»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
“____” _____ 20___ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Карачевцев Данило Дмитрович
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Метод нанесення водяних знаків на зображення в градаціях сірого за допомогою одновимірного кодування Уолша

затверджена наказом по університету від “ 01 ” квітня 2024 р. № 257Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 червня 2024 р.

3. Вхідні дані до роботи Приклади зображень для експерементів

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі

1) Аналіз сучасних досліджень в предметній області
2) Огляд кодування Уолша
3) Розробка методу
4) Проведення експерементів

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 14 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних досліджень в предметній	02.04.24-08.04.24	
	області		
2	Огляд методу кодування Уолша	09.04.24-16.04.24	
3	Розробка методу	17.04.24-22.04.24	
4	Проведення експерементів	23.04.24-06.05.24	
5	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	07.05.24-23.05.24	
6	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та	24.05.24-03.06.24	
	її попередній захист		
7	Подання кваліфікаційної роботи на рецензу-	04.06.24-07.06.24	
	вання		

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц Ільїна
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 54 с., 16 рис., 4 табл., 1 дод., 12 джерел.

ЗОБРАЖЕННЯ, ЦВЗ, СТЕГАНОГРАФІЯ, АВТЕНТИФІКАЦІЯ, ЦІЛІСНІСТЬ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження методу нанесення цифрових водяних знаків на зображення в градаціях сірого за допомогою одновимірного кодування Уолша. Цей метод повинен забезпечувати високу стійкість водяних знаків до атак, зберігаючи при цьому мінімальний вплив на якість зображення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз існуючих методів нанесення водяних знаків;
- дослідження теоретичних основ одновимірного кодування уолша;
- розробка алгоритму нанесення водяних знаків;
- реалізація алгоритму у програмному середовищі;
- оцінка якості зображень після нанесення водяних знаків.

ABSTRACT

Master’s thesis: 54 pages, 16 figures, 4 tables, 1 appendices, 12 sources.

IMAGE, CVS, STEGANOGRAPHY, AUTHENTICATION, INTEGRITY.

The major goal of this thesis is is to develop and study a method for applying digital watermarks to grayscale images using one-dimensional Walsh coding. This method should ensure high resistance of watermarks to attacks while maintaining minimal impact on image quality.

To achieve this goal, the following tasks need to be solved

- analysis of existing watermarking methods;
- study the theoretical foundations of one-dimensional Walsh coding;
- development of a watermarking algorithm;
- implementation of the algorithm in the software environment;
- assessing the quality of images after watermarking.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 7
ВСТУП 8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ СТЕГАНОГРАФІЇ 10
1.1 Що таке водяні знаки 10
1.3 Історія створення водяних знаків 13
1.4 Типи даних водяних знаків 15
1.5 Важливість нанесення водяних знаків 16
1.6 Завдання у сфері цифрового нанесення водяних знаків 17
2 ЦИФРОВІ ВОДЯНІ ЗНАКИ 21
2.1 Алгоритми нанесення цифрових водяних знаків 21
2.2 Вимоги до водяних знаків 23
2.3 Критерії порівняння 23
2.4 Атаки на ЦВЗ 26
2.5 StirMark 29
2.6 Масштабний коефіцієнт 29
3 НАНЕСЕННЯ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ НА ЗОБРАЖЕННЯ У ВІДТІНКАХ СІРОГО ЗА ДОПОМОГОЮ ОДНОВИМІРНОГО КОДУВАННЯ УОЛША 31
3.1 Тестові зображення та підписи 31
3.2 Перший алгоритм кодування 32
3.3 Результати тестування першого алгоритму 36
3.4 Другий алгоритм кодування 40
ВИСНОВКИ 44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 45
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи 47

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AES – розширений стандарт шифрування (англ., Advanced Encryption Standard)

DRM – управління цифровими правами (англ., Digital Rights Management)

DMCA – закон про авторські права в цифровому столітті (англ., Digital Millennium Copyright Act)

GUI – графічний інтерфейс користувача (англ., Graphical User Interface)

IWT – інтервальне хвильове перетворення (англ., Interval Wavelet Transform)

JPEG – група експертів з фотографічних зображень (англ., Joint Photographic Experts Group)

MD5 – повідомлення про хеш-код 5 (англ., Message Digest Algorithm 5)

OCR – оптичне розпізнавання символів (англ., Optical Character Recognition)

PSNR – пік-сигнал-шум-відношення (англ., Peak Signal-to-Noise Ratio)

PNG – портативна мережева графіка (англ., Portable Network Graphics)

RSA – алгоритм шифрування з відкритим ключем (англ., Rivest-Shamir-Adleman)

SHA – безпека адаптивного хешу (англ., Secure Hash Algorithm)

SVD – перетворення сингулярних значень (англ., Singular Value Decomposition)

ВСТУП

З розвитком цифрових технологій проблема захисту авторських прав та забезпечення безпеки цифрових зображень набуває все більшої важливості. Цифрові водяні знаки є ефективним інструментом для захисту прав інтелектуальної власності та забезпечення автентичності цифрових зображень. Нанесення водяних знаків дозволяє ідентифікувати власника зображення та запобігти його незаконному використанню. Однак, розвиток технологій цифрової обробки зображень ставить перед дослідниками нові завдання щодо підвищення стійкості та непомітності водяних знаків.

Одновимірне кодування Уолша є перспективним методом для нанесення водяних знаків, оскільки воно забезпечує високу стійкість до атак та мінімальний вплив на якість зображення. Це робить його особливо актуальним для використання у випадках, коли необхідно зберегти високу якість зображення, наприклад, у медичній візуалізації, мистецтві та наукових дослідженнях.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження методу нанесення цифрових водяних знаків на зображення в градаціях сірого за допомогою одновимірного кодування Уолша. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішити наступні завдання:

- провести огляд та аналіз сучасних методів нанесення цифрових водяних знаків на зображення, визначити їхні переваги та недоліки;
- дослідити теоретичні основи одновимірного кодування Уолша та його застосування для обробки цифрових зображень;
- розробити алгоритм нанесення цифрових водяних знаків на зображення в градаціях сірого за допомогою одновимірного кодування Уолша, що забезпечує високу стійкість водяних знаків до атак та мінімальний вплив на якість зображення;

- реалізувати розроблений алгоритм у програмному середовищі та провести його тестування на різних типах зображень для оцінки ефективності та стійкості водяних знаків.

Провести комплексну оцінку якості зображень після нанесення водяних знаків, використовуючи об'єктивні та суб'єктивні методи, та порівняти результати з існуючими методами.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці нового методу нанесення цифрових водяних знаків на зображення в градаціях сірого за допомогою одновимірного кодування Уолша, що забезпечує високу стійкість до атак та мінімальний вплив на якість зображення. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування розробленого методу для захисту авторських прав у різних сферах, таких як медична візуалізація, мистецтво, наукові дослідження та інші галузі, де необхідно зберегти високу якість зображення при забезпеченні його захисту.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ СТЕГАНОГРАФІЇ

1.1 Що таке водяні знаки

Характер цифрових мережевих систем означає, що цифрові документи можна легко копіювати та розповсюджувати серед великої кількості людей без жодних витрат. Люди можуть завантажувати аудіо, зображення та відео, ділитися ними з друзями, а також маніпулювати або змінювати їх вихідний вміст [1]. Ось тому існує гостра необхідність захисту авторських прав на такі засоби масової інформації. Існує низка технологій, які забезпечать захист від незаконного копіювання. Для вирішення цієї проблеми було розроблено алгоритми цифрових водяних знаків.

Алгоритми водяних знаків вбудовують цифрові підписи або цифрові дані, щоб підтвердити особу власника і зупинити порушення авторських прав. Кілька комерційних компаній по всьому світу пропонують своїм клієнтам послуги із захисту авторських прав. Водяний знак може бути видимим [2], коли він легко помітний спостерігачеві та власнику, або невидимим, коли він може бути виявлений власником за допомогою певних алгоритмів декодування. Для цього водяний знак повинен бути стійким, щоб його не можна було знищити шляхом модифікації цифрового носія. Ще одна вимога до водяних знаків для захисту авторських прав - алгоритм має бути сліпим. У сліпих методах оригінальний носій не потрібен для вилучення інформації про водяні знаки. Безпека є важливим питанням, яке вимагає, щоб водяний знак міг бути змінений лише власником.

Водяні знаки визначаються [1, 2] як дії з приховування повідомлення, тексту, логотипу або підпису в зображенні, аудіофайлі, відео або будь-якому іншому творі засобів масової інформації. Ці практики існують вже досить давно, фактично кілька століть. Сфера цифрового водяного маркування є відносно молодою і набула популярності як дослідницька тема у другій

половині 1990-х років. Водяні знаки можуть бути видимими, наприклад, зображення друкуються на грошових купюрах, або невидимими, коли водяні знаки ховаються всередині носія. Водяні знаки можна наносити на фізичні об'єкти, наприклад, на тканини, етикетки на одязі та упаковку товарів, на які можна наносити водяні знаки за допомогою спеціальних невидимих барвників і чорнил або у вигляді електронних сигналів. Приклади електронних представлень аудіо, зображень і відео є поширеними типами сигналів на які можна наносити водяні знаки. Ця робота зосереджена на невидимих водяних знаках з використанням електронних сигналів. Твір з водяним знаком складається з оригінального носія без водяного знаку, який називається обкладинкою або основним носієм (також називається носієм, що представляє або передає інформацію) і прихованого вмісту (водяного знаку). Нанесення водяного знака визначається як процес непомітного вбудовування повідомлення в носій за допомогою відповідних засобів.

Систему водяних знаків можна описати як структуру, що складається з двох частин: частини вбудовування та частини детектора. Процес вбудови отримує два вхідних потоки. Перший - це повідомлення, яке хочемо закодувати як водяний знак, а другий - це носій або обкладинка твору, в який хочемо вбудувати знак. Твір з водяним знаком або передається, або записується. Вбудоване повідомлення можна витягти за допомогою детектора, який визначає, чи існує водяний знак чи ні. Цифрові водяні знаки використовуються для забезпечення безпеки власності, включаючи ідентифікацію власника авторських прав і захист. На рисунку 1.1 показано загальну схему процесу вбудови та виявлення.

Нижче наведено деякі загальні терміни та визначення, що використовуються у сфері водяних знаків [2]. Водяний знак: дані, які надаються для приховування. Слово "водяний знак" також відноситься до процесу вбудовування інформації, часто схожого на власне водяний знак на папері. Носій – носій, на якому розміщено водяний знак. Іноді використовується вираз оригінал або носій.

Дані з водяним знаком – носій, який містить водяний знак.

Вбудова – процес вставки водяного знака в оригінальний носій.

Вилучення – процес вилучення вбудованого водяного знака з даних із водяним знаком.

Виявлення – процедура, що використовується для визначення того, чи містить даний носій водяний знак чи ні.

Нанесення водяних знаків – вся схема вбудови та вилучення водяних знаків.

Шум – будь-який небажаний компонент у сигналі, що з'являється, наприклад, під час передачі або внаслідок теплових процесів.

Атака – штучний процес, який використовується навмисно або ненавмисно, щоб змінити дані з водяними знаками і знищити або змінити водяний знак у даних.

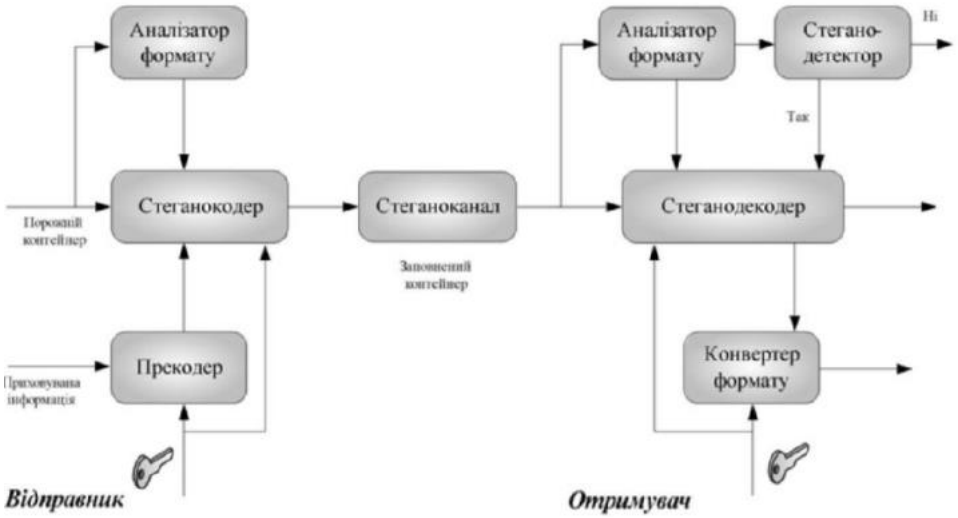

Рисунок 1.1 – Процеси вбудови та виявлення водяних знаків.

Атаковані дані – дані з водяними знаками, які містять шум або помилки, спричинені штучною модифікацією.

1.3 Історія створення водяних знаків

Водяний знак на папері вперше з'явився у 1282 році в Італії. Усе почалося з додавання тонкого дроту до паперової форми, який вводився у папір як прозора позначка (що робило папір ідентифікованим або використовувалося як торгова марка). Значення і призначення перших водяних знаків не визначені. Вони могли використовуватися для практичних цілей, таких як ідентифікація форм, на яких виготовлялися аркуші паперу, або як торгові марки для ідентифікації виробника паперу. З іншого боку, вони могли представляти містичні знаки або просто слугувати прикрасою. У вісімнадцятому столітті водяні знаки на папері набули поширення в Європі та Америці. Їх використовували як торгові марки, щоб зафіксувати дату виготовлення паперу та вказати на його оригінальність [1].

У той час слово "водяний знак" почали використовувати для позначення заходів захисту від шахрайства на грошах та інших документах. Вперше слово "водяний знак" було використано наприкінці вісімнадцятого століття. У 1779 році Джон Матісон здійснив першу спробу підробки банкнот [1]. Підробки спонукали до розвитку технології нанесення водяних знаків. Англієць Вільям Конгрев винайшов техніку нанесення кольорових водяних знаків шляхом введення фарбованого матеріалу в середину паперу під час виготовлення паперу. Отримані знаки, мабуть, було надзвичайно важко підробити, оскільки сам Банк Англії відмовився від їх використання на тій підставі, що їх було надто складно виготовити. Більш практичну технологію винайшов інший англієць, Вільям Генрі Сміт. Він замінив тонкі дротяні візерунки, що використовувалися для попередніх знаків, на щось на кшталт неглибокої рельєфної скульптури, втиснутої в паперовий візерунок. В результаті на поверхні візерунка з'явилися красиві водяні знаки з різними відтінками сірого. Це основна техніка, яка використовується сьогодні для зображення обличчя президента Джексона на паперовій банкноті номіналом 20 доларів. Слово "водяний знак", можливо, походить від німецького терміну

wassermarke, що в перекладі з англійської означає водяний знак. Тлумачення слова "водяний знак", ймовірно, пов'язане з впливом води на папір. Прикладом водяних знаків у ранній історії є непомітні повідомлення про об'єкти, в які вони були вбудовані. Інший приклад водяних знаків - у сфері музики. Патент США (1961) описує новий винахід для запобігання піратству. Водяний знак був реалізований шляхом вставки ідентифікаційного коду в музику шляхом періодичного застосування вузькосмугового фільтра з центром на частоті 1 кГц. Відсутність енергії на цій частоті позначалася для розшифрування коду або крапкою, або тире. В якості ідентифікаційного сигналу використовувалася азбука Морзе. Ця технологія подібна до цифрових методів, що використовуються в наш час.

Цифрові водяні знаки поступово розвивалися, поки не були прийняті як форма захисту авторських прав. У 1979 році Сепанскі [1] описав машинорозпізнаваний візерунок, який можна було наносити на документи з метою захисту від підробок. Дев'ять років по тому дослідники описали метод вбудовування ідентифікаційного коду в аудіосигнал. У 1988 році дослідники вперше використали термін "цифровий водяний знак". На початку 1990-х років термін "цифрові водяні знаки" став загальноприйнятим. У 1996 році відбувся перший семінар з приховування інформації (Information Hiding Workshop, IHW), однією з основних тем якого було цифрове водяне маркування. У 1999 році було проведено ще кілька конференцій, присвячених питанням безпеки та нанесення водяних знаків на мультимедійний вміст. У цей час багато організацій почали розглядати технологію водяних знаків для включення в різні стандарти.

Технічна робоча група із захисту від копіювання (CPTWG) протестувала системи водяних знаків для захисту відео на DVD-дисках. Також захист музики та звукових систем було запроваджено Ініціативою із захисту цифрової музики (Secure Digital Music Initiative, SDMI). Вдосконалені стандарти MPEG також були створені Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO). Кілька компаній займалися технологією

водяних знаків і захистом інтелектуальної власності, включаючи звуки, зображення і відео. Наприклад, у сфері водяних знаків для зображень компанія Dig marc використовувала вбудований водяний знак і технологію виявлення за допомогою Photoshop від Adobe. Наприкінці 1990-х продукти з водяними знаками стали загальнодоступними.

1.4 Типи даних водяних знаків

Більшість методів нанесення водяних знаків використовують логотипи або текстову інформацію як водяні знаки. Водяні знаки також можуть бути випадковими числами [2]. Ці числа часто генеруються генератором псевдовипадкових чисел (ГПВЧ). ГПВЧ часто використовується дослідниками в додатках інформаційної безпеки. Рукописні підписи використовувалися нещодавно. Однак ранні методи були недосконалими, оскільки для вилучення водяного знаку потрібно було оригінальне зображення. За останні кілька років було розроблено кілька схем накладання водяних знаків на зображення, зняті камерами мобільних телефонів. Запропоновані схеми мають на меті захист авторських прав та прав власності. У даній роботі підписи та номери мобільних телефонів були використані як водяні знаки для підтвердження особи. На рисунку 1.2 показано типові зображення водяних знаків, що використовуються в роботі.

057 702 1013

Рисунок 1.2 – Процеси вбудови та виявлення водяних знаків.

У випадку підпису двійкові числа підпису перемножуються за допомогою одномірного кодування Уолша. Потім підпис, закодований за

Уолшем, вбудовується в нижню частотну смугу DCT-домену зображення. У випадку з номером мобільного телефону розмір водяного знаку невеликий порівняно з основним зображенням, тому його можна вбудовувати багато разів.

Десяткові телефонні номери перетворюються в двійкові, а потім перемішуються для підвищення стійкості до атак вертикального обрізання. Потім цифри кодуються 1D або 2D кодом Уолша. Знову ж таки, числа, закодовані Уолшем, вбудовуються в нижню частотну смугу домену DCT зображення.

1.5 Важливість нанесення водяних знаків

У сучасному цифровому світі, де інформація та зображення швидко поширюються через інтернет, проблема захисту інтелектуальної власності стає дедалі актуальнішою. Одним із найефективніших способів захисту цифрового контенту є нанесення водяних знаків. Водяні знаки відіграють ключову роль у збереженні авторських прав, забезпеченні автентичності зображень та запобіганні несанкціонованому використанню цифрових матеріалів.

Цифрові водяні знаки дозволяють власникам зображень підтверджувати своє авторство та захищати свої роботи від незаконного копіювання та розповсюдження. Це особливо важливо для фотографів, дизайнерів, художників та інших творчих професіоналів, чия робота легко піддається цифровому піратству. Водяні знаки допомагають уникнути фінансових втрат і зберегти репутацію авторів, оскільки вони можуть довести своє право власності на зображення у разі виникнення суперечок.

Водяні знаки слугують надійним засобом аутентифікації цифрових зображень. Вони допомагають переконатися, що зображення не було змінено або підроблено, що є критично важливим у таких галузях, як судово-медична експертиза, медична візуалізація та документообіг. Завдяки водяним знакам

користувачі можуть бути впевнені у достовірності отриманих зображень, що сприяє підвищенню довіри до цифрового контенту.

Водяні знаки дозволяють відстежувати розповсюдження цифрових зображень в інтернеті. Це особливо корисно для компаній та організацій, які надають контент онлайн. Водяні знаки допомагають виявляти випадки піратства та незаконного використання зображень, що дозволяє вчасно вжити заходів для захисту своїх прав. Відстеження також дає змогу аналізувати, як і де використовується контент, що може бути корисним для маркетингових стратегій та управління контентом.

Сучасні методи нанесення водяних знаків забезпечують високу стійкість до різних видів атак, таких як геометричні перетворення, компресія, додавання шуму та інші маніпуляції. Це гарантує надійний захист зображень навіть у випадках, коли зловмисники намагаються видалити або пошкодити водяний знак. Використання таких методів, як одновимірне кодування Уолша, дозволяє забезпечити додатковий рівень захисту без значного впливу на якість зображення. Цифрові водяні знаки підвищують довіру користувачів до контенту. Зображення з водяними знаками свідчать про серйозний підхід до захисту прав власності та дотримання етичних стандартів. Користувачі можуть бути впевнені, що контент, який вони переглядають або використовують, є автентичним і захищеним від підробок. Це створює сприятливе середовище для поширення та обміну цифровими зображеннями.

1.6 Завдання у сфері цифрового нанесення водяних знаків

Метод, представлені в цій роботі, є сліпими, тобто водяний знак може бути вилучений без оригінального зображення. Однією з проблем при створенні водяних знаків є збереження відмінних якостей невидимості. На рисунку 1.3 показано стандартне зображення Лени та відповідне зображення з водяним знаком, що використовується в роботы. Зрозуміло, що водяний знак непомітний.

а) б)

Рисунок 1.3 – Зображення водяних знаків: а) оригінальне зображення Лєни та б) зображення з водяним знаком Лєни

Однією з основних вимог до водяних знаків є стійкість [1, 2]; водяний знак повинен бути стійким до несанкціонованого виявлення та декодування. У цій роботі ретельний підбір низькочастотних коефіцієнтів забезпечує компроміс між стійкістю та якістю зображення з водяним знаком. Основне зображення розбивається на 8 × 8 підблоків і трансформується за допомогою ДКП. Більш детально це буде описано в далі. На рисунку 1.4 показано блоки 8 × 8 DCT.

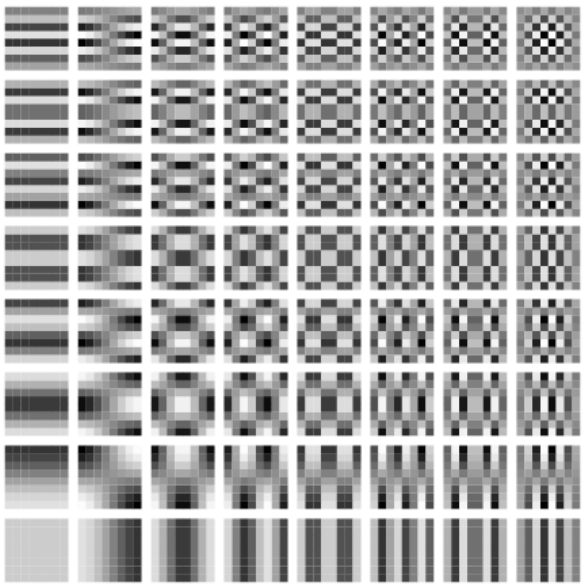

Рисунок 1.4 – Блоки DCT

Водяний знак повинен бути стійким до методів обробки зображень, таких як стиснення (без втрат і з втратами), а також до навмисних спроб знищити або видалити водяний знак. Одне із завдань водяного знаку – бути стійким до модифікацій. Однією з головних проблем є також непомітність. Ефективна схема водяного знаку – це та, яка може збалансувати безпеку та стійкість. Інша проблема полягає в тому, щоб реалізувати систему водяних знаків, яка може обробляти великі обсяги даних, зберігаючи при цьому якість зображення з водяним знаком.

Зображення з водяними знаками можуть піддаватися ряду поширених атак. Атака стиснення JPEG є однією з них. На рисунку 1.5 показано зображення Zena під час різних атак на стиснення JPEG.

Рисунок 1.5 – Зображення Zena під час атаки на стиснення JPEG

На рисунку 1.6 показано атаки обрізання зображення з водяним знаком по горизонталі та вертикалі.

Рисунок 1.6 – Горизонтальне та вертикальне обрізання

StirMark – це універсальний інструмент для перевірки стійкості алгоритмів водяного маркування зображень. Він вважається стандартним бенчмарком для оцінки цифрового водяного маркування зображень. Програми StirMark виконують кілька атак на зображення з водяними знаками, щоб оцінити їх. Деякі з цих атак показано на рисунку 1.7.

Рисунок 1.7 – Різні атаки з використанням стандартних інструментів StirMark

2 ЦИФРОВІ ВОДЯНІ ЗНАКИ

2.1 Алгоритми нанесення цифрових водяних знаків

Алгоритми цифрових водяних знаків можна класифікувати за різними критеріями. Водяні знаки можуть бути видимими, що перешкоджає несанкціонованому використанню, а також слугує рекламою. З іншого боку, вони можуть бути невидимими, оскільки не спричиняють погіршення візуальної якості або корисності даних. Іншим критерієм є надійність алгоритму нанесення водяних знаків. Вони можуть бути надійними або вразливими. Надійні водяні знаки - це ті, які важко видалити з об'єкта, в який вони вбудовані, незважаючи на різні атаки, яким вони можуть піддаватися. Крихкі водяні знаки - це ті, які легко знищуються при будь-якій спробі підробки. Крихкі водяні знаки відіграють важливу роль в автентифікації зображень та перевірці їхньої цілісності. Неправильні зміни у схемі відображаються у вилученому водяному знаку [2]. Ефективна схема крихких водяних знаків повинна відповідати наступним вимогам:

- перцептивна невидимість;
- можливість знайти будь-які зміни або несанкціоновану область, внесену в зображення;
- здатність переносити зміни, спричинені стисненням JPEG з втратами [3].

Ще одна класифікація – сліпі та несліпі методи. У "сліпих" методах оригінальне зображення не потрібне, а в "несліпих" методах оригінальне зображення потрібне для вилучення інформації про водяні знаки. Методи нанесення водяних знаків можна розділити на дві категорії. Перша категорія заснована на кореляційному методі, в якому алгоритми вбудовування реалізуються шляхом додавання псевдовипадкового шуму до компонентів зображення. Друга категорія включає некореляційні методи. Прикладами

некореляційних методів нанесення водяних знаків є: логотип, підпис, телефонні номери та текст. Крім того, залежно від області обробки, в якій виконується вбудовування, методи цифрового нанесення водяних знаків можна розділити на просторову область і область перетворення. Доведено, що схеми нанесення водяних знаків в області перетворення є набагато кращими порівняно зі схемами в просторовій області.

Найбільш простим методом вбудовування водяного знаку є вбудовування водяного знаку в найменший значущий біт (LSB) об'єкта покриття [3]. Цей метод нанесення водяних знаків є невидимим, оскільки зміни вносяться лише до LSB, але він не є стійким. Маніпуляції із зображенням, такі як повторна вибірка, обертання, перетворення формату та обрізання, у більшості випадків призводять до втрати інформації про водяний знак.

Незважаючи на свою простоту, заміна LSB має низку недоліків. Хоча вона може витримати такі перетворення, як обрізання, будь-яке додавання шуму або стиснення з втратами, швидше за все, призведе до знищення водяного знаку. Ще кращою атакою було б просто встановити біти LSB кожного пікселя в одиницю, повністю знищивши водяний знак з незначним впливом на об'єкт обкладинки. Крім того, як тільки алгоритм буде виявлено, вбудований водяний знак може бути легко модифікований проміжною стороною. Покращенням базової LSB-підстановки є використання генератора псевдовипадкових чисел для визначення пікселів, які будуть використані для вбудовування, на основі заданого "насіння" або ключа. Використовуючи метод LSB, можна маніпулювати LSB будь-якого кольорового або монохромного зображення у спосіб, непомітний для ока. Вбудоване повідомлення декодується і може бути видалене з модифікованого зображення, щоб відновити оригінальну інформацію.

Прикладами областей перетворень є дискретне перетворення Фур'є (ДПФ), дискретне косинусне перетворення (ДКП) та дискретне вейвлет-перетворення (DWT). Найпоширенішим методом, що використовується в цій

галузі, є техніка нанесення водяних знаків за допомогою DCT [1, 2]. Спочатку зображення розбивається на 8 × 8 блоків. Кожен блок перетворюється в частотну область за допомогою ДКП. Кожен DCT-блок складається з 8 × 8 коефіцієнтів. Потім виконується вбудовування водяного знаку шляхом модифікації низьких або середніх значень частотних складових, виключаючи складову постійного струму.

2.2 Вимоги до водяних знаків

Алгоритми цифрових водяних знаків повинні відповідати наступним вимогам [1]:

- стійкість: Описує, наскільки добре водяний знак витримує звичайну обробку сигналу;
- непомітність: Водяний знак повинен бути невидимим для людського сприйняття і не відрізнятися від решти зображення.
- неможливість детектування: Водяний знак повинен відповідати вихідним даним;
- безпека: Користувач не повинен знати секретний ключ;
- складність: інформацію про водяний знак важко закодувати або декодувати;
- місткість: Кількість інформації про водяний знак, яку можна завантажити.

2.3 Критерії порівняння

Процедури порівняння використовуються для оцінки якості зображень і можуть показати їхні сильні та слабкі сторони. Вони також вимірюють, наскільки ефективно працюють різні алгоритми водяних знаків таким чином, щоб можна було справедливо порівнювати методи [3]. Метрики якості зображення – це показники, які використовуються для оцінки систем або

процесів обробки зображень. Метрики якості зображення можна умовно поділити на дві категорії: суб'єктивні та об'єктивні. Суб'єктивна якість зображення - це метод оцінки зображень глядачем, який примусово перевіряє точність і в той же час розглядає зображення в наочній формі. В об'єктивних показниках якості зображення обчислюються деякі статистичні індекси, які вказують на якість реконструйованого зображення. Метрики якості зображення надають певну міру близькості між двома цифровими зображеннями, використовуючи відмінності у статистичному розподілі значень пікселів. Найпоширенішими метриками помилок для порівняння стиснення є середньоквадратична помилка (MSE) та пікове відношення сигнал/шум (PSNR).

MSE вимірює похибку відносно центру значень зображення, тобто середнє значення пікселів зображення, і усереднює суму квадратів похибки між двома зображеннями.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} p_1(i, j) - p_2(i, j), \tag{2.1}$$

де, p_1 (m, n) та p_2 (m, n) представляють два зображення розміром m × n.

Менше значення MSE означає меншу похибку в реконструйованому зображенні.

PSNR оцінює якість реконструйованого зображення порівняно з оригіналом; це стандартний спосіб вимірювання точності зображення [6]. Тут "сигнал" – це оригінальне зображення, а "шум" – це помилка в модифікованому зображенні. PSNR – це єдине число, яке відображає якість реконструйованого зображення і вимірюється в децибелах (дБ). Його найпростіше визначити за допомогою середньоквадратичної похибки (MSE) для двох монохромних зображень p_1 і p_2, де одне з зображень вважається зашумленим наближенням іншого. PSNR визначається як:

$$PSNR = 10\log_{10}(\frac{MAX_{p_1}^2}{MSE}) = 20\log_{10}(\frac{MAX_{p_1}^2}{\sqrt{MSE}}). \quad (2.2)$$

Тут MAX_{p1} – це максимальне значення пікселя зображення. Якщо пікселі представлено з використанням 8 біт на вибірку, це значення дорівнює 255.

Оцінка структурної подібності – це метод оцінки якості зображення на основі чутливості до помилок. Показник індексу структурної подібності (SSIM) використовується для оцінки різниці виміряних похибок між еталонним зображенням і спотвореним зображенням. Це індекс, який порівнює локальні шаблони інтенсивностей пікселів, які були нормалізовані за яскравістю та контрастом. Таким чином, оцінка є мірою деградації структурної інформації зображення [7]. Приклад SSIM показано на рисунку 2.1, де значення SSIM=0.5.

Оригінальне зображення

Зображення з ЦВЗ

Рисунок 2.1 – Оригінальне зображення Zena з водяним знаком та SSIM=0.5

Перехресна кореляція є стандартним методом, що використовується як еталон для оцінки ступеня кореляції між двома рядами, і може бути визначена за допомогою наступного рівняння [8, 9]:

$$NC = \frac{\sum_{x,y} i_{x,y} e_{x,y}}{\sum_{x,y} e^2_{x,y}}, \tag{2.3}$$

де i – оригінальне зображення, а e – вилучене зображення. На рисунку 2.2 нормалізована кореляція (NC) між двома зображеннями дорівнює 0,9.

Вилучене ЦВЗ Оригінальне ЦВЗ

Рисунок 2.2 – Оригінальний підпис та витягнутий підпис, з NC 0.9

2.4 Атаки на ЦВЗ

Атаки на водяні знаки можуть здійснюватися різними методами [10]. У цьому розділі розглядаються основні атаки.

Низькочастотна фільтрація не призведе до погіршення якості зображень з водяними знаками, але може вплинути на продуктивність процедури ідентифікації водяних знаків, оскільки спектр водяних знаків часто містить значну кількість високочастотного спектрального вмісту. Це може бути використано зловмисником при спробі видалити водяний знак [2]. Наприклад, водяний знак зі значною енергією у високих частотах може бути погіршений застосуванням низькочастотного фільтра. Крім того, будь-яка система водяних знаків, для якої доданий візерунок є "шумоподібним", є чутливою до методів видалення шуму.

JPEG – це формат стиснення з втратами, і ключ до зменшення розміру файлу полягає у виборі максимальний ступінь стиснення без погіршення якості зображення. Ці втрати пов'язані з процесом квантування. Загалом,

ступінь стиснення і, відповідно, втрати пропорційні кількості рівнів квантування. Зі зменшенням кількості рівнів квантування ступінь стиснення зростає, а втрати збільшуються. Це пов'язано з тим, що значення коефіцієнта квантування округлюється до найближчого рівня квантування. Якщо кількість рівнів квантування невелика, то значення коефіцієнта буде округлено до значення, яке суттєво відрізняється від початкового. Такі зміни в коефіцієнтах призведуть до пошкодження вмісту водяного знаку, вбудованого в ці коефіцієнти [2].

Це може бути результатом певних застосувань, таких як використання аналого-цифрових (АЦП) і цифро-аналогових перетворювачів або помилок при передачі. Зловмисник може ввести фігурний шум з максимально непомітною потужністю, наприклад, додати трохи шуму до зображення в діапазоні +1 або -1, і це знищить будь-який водяний знак, вбудований в просторову область (молодший значущий біт).

Обрізання – це ще один метод, який може бути використаний зловмисником для зміни співвідношення сторін без розтягування зображення або заповнення порожніх місць. Атака з обрізанням може вплинути на водяний знак, не змінюючи при цьому зображення обкладинки. Це залежить від техніки нанесення водяного знаку та його стійкості. Обрізання може здійснюватися горизонтально або вертикально. Атака обрізання видаляє деякі компоненти зображення з водяним знаком, зменшуючи розмір прийнятого сигналу, що може призвести до втрати частини прихованої інформації. Варто зазначити, що обрізання також спричиняє проблему синхронізації схем приховування даних. Під синхронізацією мається на увазі початкова точка прихованої інформації, наприклад, початкова точка блоку 8 × 8. Незважаючи на те, що обрізання призводить до значних спотворень у сенсі середньоквадратичної похибки, воно не призводить до жодних спотворень сприйняття, за умови, що значні частини основного сигналу не вилучаються [2, 10]. Приклади горизонтального та вертикального обрізання показані на рисунку 2.3.

Рисунок 2.3 – Горизонтальне та вертикальне обрізання

Обертання зображення змінює початковий аспект зображення і може зруйнувати синхронізацію детектора водяних знаків. У сфері водяних знаків для зображень дуже важко знайти алгоритм, який може легко протистояти атаці обертання. Більшість алгоритмів водяних знаків є стійкими до звичайних атак на обробку сигналу, нехтуючи при цьому атаками обертання [2]. Важливо підкреслити, що навіть невеликий кут повороту може призвести

до збою алгоритму ідентифікації водяних знаків. Наразі існує два способи протидії атаці повороту. Один з них заснований на геометричних корекціях, коли схема намагається привести зображення, наприклад, до його до початкового вигляду, виконавши протилежне обертання. Інший – вбудовування водяного знаку в геометричні інваріанти, при якому обертання зображення не застосовується [11].

2.5 StirMark

StirMark – це універсальний інструмент для простого тестування стійкості алгоритмів водяних знаків зображень. Перша версія Stir mark була представлена в 1997 році Фабіеном А. П. Петітколасом (Fabien A. P. Petitcolas). Stir Mark - це виконувана програма, яка випробовує всі види атак на зображення з водяними знаками. Вона може бути застосована до фотографічних цифрових зображень і спотворює водяний знак простими методами до такої міри, що його неможливо виявити і декодувати з отриманого зображення. В основному, цей інструмент викликає асинхронні проблеми. Досвід показує, що вбудований водяний знак часто сильно погіршується, коли стикається з цими атаками [3, 9].

Бенчмарк включає набір заздалегідь визначених типових атак (стиснення JPEG, PSNR, стиснення JPEG, адитивний гаусівський шум, низькочастотна фільтрація, обертання, масштабування, випадкові геометричні спотворення та інші). Потім вихідні зображення можна повернути до вихідної програми для виявлення водяних знаків.

2.6 Масштабний коефіцієнт

Зображення розбивається на блоки 8 × 8, а потім перетворюється в частотну область за допомогою ДКП. Водяний знак зазвичай вбудовується в низькочастотні компоненти, після чого блок DCT перетворюється назад у

просторову область. У просторовій області пікселі представлені цілими числами (0-255), і таке перетворення з арифметики з плаваючою комою в цілі числа може призвести до втрати інформації про водяний знак. Тому для збереження водяного знаку в частотній області використовується масштабний коефіцієнт. Масштабний коефіцієнт - це абсолютне ціле число, яке множиться на квантовані компоненти DCT основного зображення в частотній області для підвищення стійкості. Квантовані значення множаться на цей коефіцієнт і округлюються в алгоритмі для отримання альтернативних чисел непарного і парного статусу. Таким чином, коефіцієнт масштабування є постійним числом, призначеним схемою для модифікації значення DCT, разом із двійковими даними (0 і 1), що вбудовуються, для регулювання амплітуди значення пікселя за необхідності. Таким чином, результуючий статус парності та непарності можна контролювати, змінюючи значення коефіцієнта масштабування для покращення стійкості, як показано в рівнянні нижче:

$$p_2(i, j) = Round(\frac{p_1(i, j)}{s}), \tag{2.4}$$

де p_1 – коефіцієнт ДКП зображення, а p_2 – модифікований коефіцієнт. s – коефіцієнт масштабування.

Ефект зміни коефіцієнта масштабування впливатиме на сприйняття невидимості зображення з водяними знаками. Емпіричні результати показали, що збільшення значення коефіцієнта масштабування може покращити стійкість вбудованого водяного знаку, але в той же час погіршить якість зображення з водяним знаком. Тому слід враховувати баланс між невидимістю для сприйняття та стійкістю. Для оцінки погіршення якості зображень з водяними знаками використовуються PSNR і SSIM.

3 НАНЕСЕННЯ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ НА ЗОБРАЖЕННЯ У ВІДТІНКАХ СІРОГО ЗА ДОПОМОГОЮ ОДНОВИМІРНОГО КОДУВАННЯ УОЛША

У цьому розділі розглянуто розробку та аналіз двох нових алгоритмів, що використовують одновимірне (1D) кодування Уолша для нанесення водяних знаків на зображення у відтінках сірого. Вбудовування виконується в частотній області за допомогою ДКП. Перший новий алгоритм – це інноваційна схема водяних знаків для вбудовування рукописних підписів з кодом Уолша в зображення обкладинки. Другий алгоритм - це нова схема водяних знаків для вбудовування номерів мобільних телефонів з кодом Уолша в низькочастотну область основного зображення. Спотворення, спричинені водяними знаками, оцінюються за допомогою PSNR та SSIM. Також передбачено використання різних довжин кодів Уолша для підвищення стійкості методу водяних знаків.

3.1 Тестові зображення та підписи

У цій роботі було використано кілька зображень і підписів кандидатів для тестування різних алгоритмів. На рисунку 3.1 показано зразок рукописних підписів, використаних у цій роботі. Ці підписи являють собою 1-розрядні двійкові коди 64 × 64 та зображення 16 × 64. Зразки тестових зображень у відтінках сірого показано на рисунку 3.2.

Рисунок 3.1 – Три розміри підписів 64 × 64 та 16 × 64

Рисунок 3.2 – 8-розрядні тестові зображення сірої шкали 512 × 512

3.2 Перший алгоритм кодування

Функції Уолша ортогональні і містять елементи довжини. Функція Уолша виробляється пропорційно значенню елементів довжини, а ця довжина дорівнює 2n, де n – ціле число. У цьому алгоритмі для кодування підпису перед вбудовуванням у зображення обкладинки будуть використовуватися 1D-функція Уолша. Кодування 1D Уолша може бути застосоване як горизонтально, так і вертикально. Робота буде виконуватися з використанням горизонтального 1D кодування Уолша. Використовуючи цей тип кодування, кожен рядок векторів підпису буде помножено на код Уолша, а потім складено разом, щоб отримати закодований Уолшем підпис.

Схема реалізується шляхом взяття підпису 16 × 64 двійкових біт і повторення його чотири рази з перемішуванням, щоб отримати 64 × 64

двійкових біт. Потім використовується одномірне кодування Уолша довжиною чотири.

Для демонстрації алгоритму розглянемо вектор з чотирьох пікселів [0 1 0 1]. Кожному пікселю відповідає

$$\begin{aligned} \mathbf{w}1 &= [+1 \quad +1 \quad +1 \quad +1] \\ \mathbf{w}2 &= [+1 \quad +1 \quad -1 \quad -1] \\ \mathbf{w}3 &= [+1 \quad -1 \quad -1 \quad +1] \\ \mathbf{w}4 &= [+1 \quad -1 \quad +1 \quad -1] \end{aligned} \tag{3.1}$$

помноженому на відповідний код Уолша. Таким чином, перший біт (0) буде помножено на W1, другий біт (1) – на W2, третій біт (0) – на W3 і четвертий біт (1) буде помножено на W4. Потім добутки множень додаються разом, утворюючи чотири десяткові числа в діапазоні від -2 до 2. Ці числа перетворюються в цілечисла в діапазоні від 0 до 4, і кожне з цих десяткових чисел перетворюється в трибітове двійкове число. Таким чином, новий розмір підпису буде двійковим підписом 64 × 192. Таку саму процедуру можна використовувати для більших довжин Уолша, наприклад, вісім десяткових чисел Уолша генерують десяткові числа в діапазоні від -4 до 8, що вимагає чотирьох бітів. Кожне десяткове число буде вкладено в блок ДКП 8 × 8. Для вбудовування використовуються низькочастотні коефіцієнти. Рисунок 3.3 ілюструє процедуру кодування рукописного підпису.

Зображення розміром 512×512 розбивається на 8×8 блоків, а потім кожен блок перетворюється в частотну область за допомогою 2D DCT. Водяний знак вбудовується в блоки DCT шляхом модифікації трьох низькочастотних коефіцієнтів, за винятком компонента постійного сигналу. Три компоненти, які використовуються в цій методиці, - це (1, 2), (2, 1) і (2, 2). Елементи 1D підпису, закодованого Уолшем, вставляються в блокові коефіцієнти ДКП основного зображення. Це робиться шляхом модифікації

значення коефіцієнта ДКП. Спочатку він ділиться на масштабний коефіцієнт, а потім округляється до цілого, як показано в рівнянні 3.1.

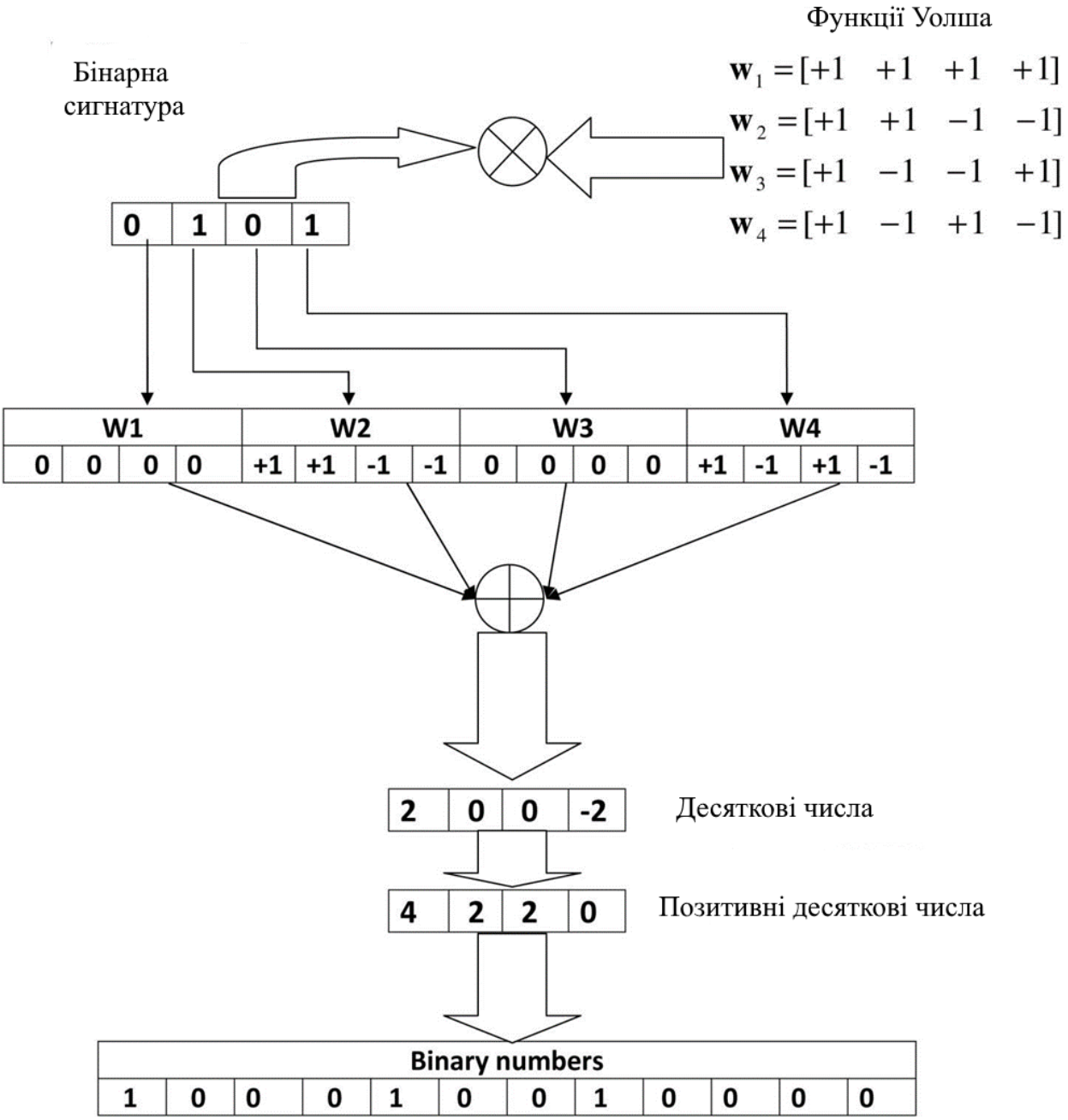

Рисунок 3.3 – Процес 1D кодування підпису Уолша

$$p_2(i, j) = Round(\frac{p_1(i, j)}{s}), \tag{4.1}$$

де p_1 – коефіцієнт ДКП зображення, а p_2 – модифікований коефіцієнт. s – коефіцієнт масштабування.

Потім значення змінюється на парне або непарне число відповідно до закодованих бітів підпису. Якщо біт дорівнює нулю, то число змінюється на парне, а якщо 1, то на непарне. Потім до блоку застосовується обернене ДПФ і генерується блок з просторовим доменним водяним знаком. Ця ж процедура повторюється для інших блоків. Рисунок 3.4 ілюструє процес вбудовування.

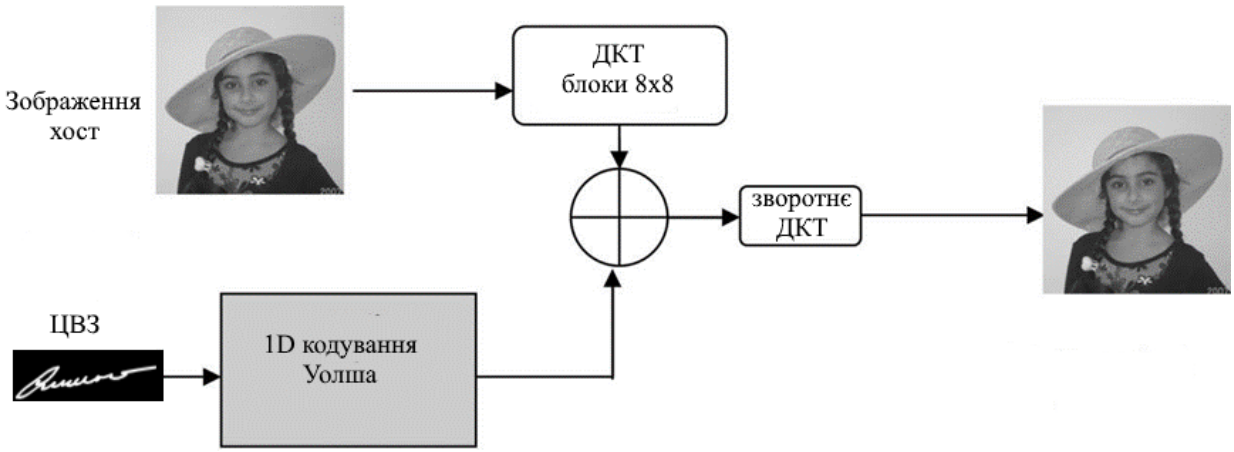

Рисунок 3.4 – Процес вбудовування 1D підпису, закодованого кодом Уолша

Вилучення підпису досягається шляхом перетворення зображення з водяним знаком на блоки 8 × 8, а потім застосуванням ДКП до кожного блоку. Спочатку знаходяться модифіковані коефіцієнти, потім кожен коефіцієнт ділиться на той самий масштабний коефіцієнт і округлюється. Якщо значення непарне, то генерується 1, а якщо парне, то генерується 0. Двійкові біти, які витягуються з блоку, перетворюються в десяткові числа. Та ж процедура повторюється для інших блоків і відновлюється підпис, закодований Уолшем. Підпис відновлюється шляхом множення кожного вектора на послідовності Уолша та їх інтегрування. Рисунок 3.5 ілюструє процес відновлення підпису. Слід зазначити, що алгоритм є сліпим і не потребує оригінального зображення.

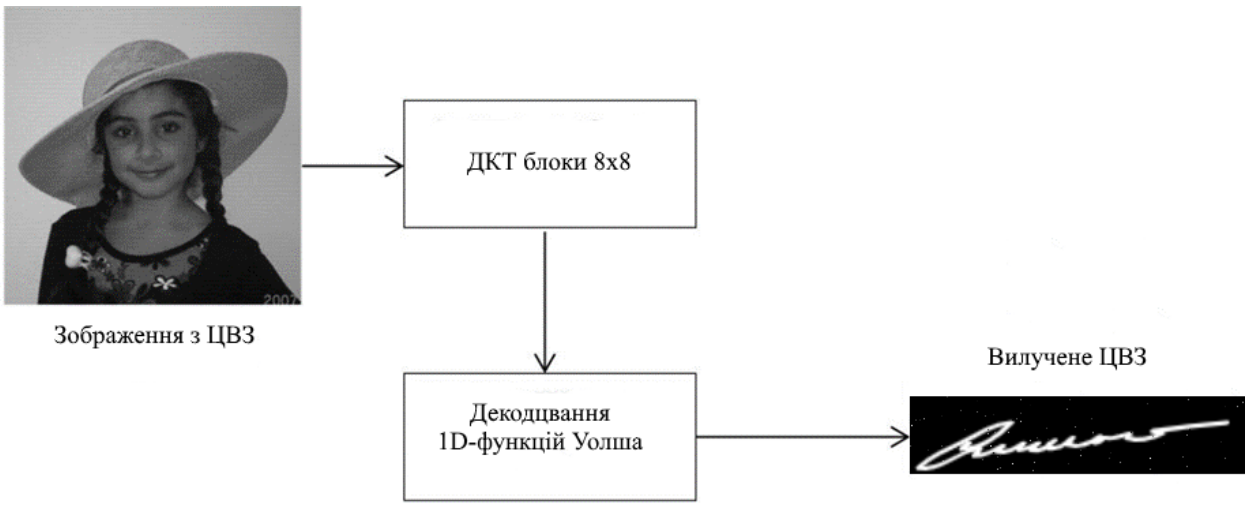

Рисунок 3.5 – Процес вилучення 1D підпису, зашифрованого за допомогою функцій Уолша

3.3 Результати тестування першого алгоритму

Оцінка алгоритму 1 була виконана з використанням довжин Уолша 4 і 8. Для оцінки було використано PSNR та SSIM-тести з різними коефіцієнтами масштабування. Було досліджено стійкість алгоритмів 1 до стиснення JPEG. Для подальшого оцінювання було також застосовано тести StirMark.

На рисунку 3.6 показано різні стандартні зображення, які були використані для оцінки алгоритму нанесення водяних знаків. Вплив коефіцієнтів масштабування на невидимість для сприйняття вивчався за допомогою PSNR та SSIM. Таблиця 3.1 демонструє вплив коефіцієнтів масштабування від 4 до 20 на невидимість зображень з водяними знаками з довжиною Уолша, що дорівнює чотирьом. Значення PSNR лежать у діапазоні від 37,74 дБ до 51,92 дБ. Результати показують, що збільшення значення коефіцієнта масштабування впливає на якість зображення з водяними знаками. З таблиці 3.1 видно, що значення SSIM знаходяться в діапазоні від 0,9263 до 0,9987. Очевидно, що спотворення, спричинені новою схемою нанесення водяних знаків, непомітні на всіх тестових зображеннях.

Рисунок 3.5 – П'ять різних тестових зображень та їхні версії з водяними знаками: а, г, є, и, й – оригінальні зображення; б,д,ж і, к – зображення з водяними знаками з довжиною Уолша 4 та масштабним коефіцієнтом 4; в, е, з, ї, л – зображення з водяними знаками з довжиною Уолша 8 та масштабним коефіцієнтом.

Таблиця 3.1 – PSNR та SSIM за Уолшем 4 та 8

Масштабуючий коефіцієнт	SSIM		PSNR	
	Уолш 4	Уолш 8	Уолш 4	Уолш 8
Aeroplane				
4	0.9967	0.995 7	51.7436	50.510 1
8	0.9886	0./9853	45.9075	44.6924
12	0.9767	0.9705	42.5477	41.3383
16	0.9622	0.9523	40.2219	39.0318
20	0.9450	0.9318	38.4258	37.2578
Baboon				
4	0.9987	0.9983	51.8121	50.5384
8	0.9950	0.9935	45.6455	44.4533
12	0.9890	0.9858	42.1769	40.9776
16	0.9810	0.9760	39.7042	38.5184
20	0.9710	0.9637	37.7409	36.5867
Lena				
4	0.9972	0.9963	51.7282	50.4862
8	0.9896	0.9867	45.7675	44.5785
12	0.9777	0.9723	42.3156	41.2067
16	0.9628	0.9543	39.9313	38.8547
20	0.9448	0.9330	37.9885	36.9680
Peppers				
4	0.9897	0.9964	51.7510	50.5459
8	0.9897	0.9868	45.8115	44.5985
12	0.9780	0.9724	42.3266	41.1437
16	0.9632	0.9549	39.8899	38.7483
20	0.9452	0.9343	38.0410	36.9815
Zena				
4	0.9957	0.9946	51.9278	50.7327
8	0.9859	0.9821	46.2133	45.1151
12	0.9707	0.9634	42.9344	41.8535
16	0.9500	0.9392	40.4979	39.4744
20	0.9263	0.9108	38.6079	37.5731

Таблиця 3.2 – Найнижчі коефіцієнти JPEG з коефіцієнтами Уолша 4 та 8

Масштабуючий коефіцієнт	Уолш 4	Уолш 8
Aeroplane		
4	82	83
8	63	67
12	45	46
16	33	36
20	26	27
Baboon		
4	82	84
8	65	67
12	48	49
16	35	36
20	28	29
Lena		
4	82	83
8	65	65
12	44	45
16	33	35
20	26	27
Peppers		
4	82	84
8	65	67
12	45	46
16	35	36
20	26	28
Zena		
4	82	82
8	63	63
12	41	41
16	31	31
20	26	25

Таблиця 3.3 – Атаки StirMark та їхні значення NC за Уолшем 4 та 8

NC атаки StirMark для Lena при S=20		
Атака	Уолш 4	Уолш 8
Адитивний шум 0.1	0.9143	0.9142
Адитивний шум 0.3	0.9142	0.9142
Адитивний шум 0.5	0.9141	0.9142
Адитивний шум 0.7	0.9143	0.9142
Адитивний шум 0.9	0.9143	0.9142
JPEG 20	0.9134	0.9133
JPEG 25	0.9134	0.9133
JPEG 30	0.9139	0.9133
JPEG 75	0.9142	0.9140
Медіана 3 × 3	0.9038	0.9035
Медіана 5 × 5	0.9104	0.9106
PSNR 30	0.9455	0.9454
PSNR 50	0.9143	0.9142
PSNR 70	0.8849	0.8847
PSNR 90	0.8571	0.8570
Обертання 0.25	0.8876	0.9864
Обертання 0.5	0.9478	0.9467

Результати показують, що алгоритм 1 є стійким до атаки JPEG. Слід зазначити, що завжди існує компроміс між стійкістю і спотвореннями, присутніми в зображеннях з водяними знаками. Алгоритм було протестовано за допомогою програмного забезпечення StirMark для оцінки стійкості до інших атак. Тестування проводилося на стандартному зображенні Олени з коефіцієнтом масштабування 20. У таблиці 3.3 показано атаки StirMark та їхні значення NC.

3.4 Другий алгоритм кодування

Зараз багато людей використовують камери мобільних телефонів для зйомки зображень і обміну ними з іншими, надсилаючи їх як вкладення в соціальних мережах. Тому існує нагальна потреба в захисті авторських прав

на ці зображення. Цифрові водяні знаки можуть забезпечити такий захист і гарантувати право власності на зображення. Одним із способів досягнення цієї мети є вбудовування номера телефону з міжнародним кодом у зображення.

Мета нової схеми нанесення водяних знаків – приховати номер мобільного телефону на зображеннях. Причина вибору телефонних номерів полягає в тому, що кожна людина має унікальний номер (включаючи міжнародний код), який може бути використаний для нанесення водяних знаків на власні зображення. Також до 14 цифр додається сума десяткових цифр, щоб отримати 16 десяткових цифр (00971 50 3658212 49). Перевага додавання суми до 14 цифр полягає в тому, що можна перевірити, чи є отримане число правильним чи ні. Розмір водяного знаку невеликий порівняно з основним зображенням, тому його можна вбудовувати багато разів. Числа будуть перемішані для підвищення стійкості до атак вертикального обрізання.

Цей алгоритм використовує одномірні функції Уолша з фіксованою довжиною для кодування цифр телефону перед вбудовуванням їх у зображення обкладинки. Для реалізації цього типу кодування кожна з 16 десяткових цифр повторюється багато разів, а потім перетворюється в двійкову форму, щоб зробити їх 64 × 64 і закодувати за допомогою функції Уолша. Це робиться для кожного рядка вектора двійкових чисел і відбувається за тією ж процедурою, що і в алгоритмі 1, Номер телефону, закодований за Уолшем, розкладається на три компоненти ДКП. Ті ж самі три низькочастотні компоненти використовуються в цій методиці: (1, 2), (2, 1) і (2, 2) використовуються для вбудовування. Двійкові біти вбудовуються в блоки 8 × 8 DCT відповідно до їхнього статусу (парні чи непарні).

Процес вилучення є зворотною операцією. З зображення з водяними знаками знімається ДКП та ідентифікуються частотні компоненти, перевіряючи, чи є вони парними або непарними. Потім, після декодування

закодованого за Уолшем номера, виконується процес перестановки для вилучення оригінальних телефонних номерів. Ця ж процедура може бути використана для більших довжин Уолша, наприклад, якщо використовується довжина Уолша 8, то буде використано 4 частотні коефіцієнти.

Далі буде проаналізовано стійкість алгоритму 2. Аналіз охоплює використання різних коефіцієнтів масштабування для нанесення водяних знаків та їх вплив на достовірність зображень з водяними знаками. Точність зображень оцінюється за допомогою PSNR та SSIM. Використовувалися різні 8-бітові стандартні та нестандартні зображення розміром 512 × 512 пікселів.

Таблиця 3.4 демонструє невидимість зображень з водяними знаками за різних значень коефіцієнтів масштабування та відповідних значень PSNR. Вибрані значення масштабних коефіцієнтів лежать в діапазоні від 4 до 20, а значення PSNR лежать в діапазоні від 37,87 дБ до 52,68 дБ відповідно.

Таблиця 3.4 – PSNR та SSIM за Уолшем 4 та 8

Масштабуючий коефіцієнт	SSIM		PSNR	
	Уолш 4	Уолш 8	Уолш 4	Уолш 8
Aeroplane				
4	0.9968	0.9960	51.8458	50.6014
8	0.9899	0.9872	46.1733	44.9816
12	0.9819	0.9775	43.0853	41.9110
16	0.9734	0.9673	40.8849	39.7677
20	0.9665	0.9586	39.3545	38.2129
Baboon				
4	0.9987	0.9983	51.7546	50.4877
8	0.9949	0.9935	45.6930	44.4560
12	0.9890	0.9860	42.2096	40.9950
16	0.9815	0.9768	39.7587	38.5319
20	0.9728	0.9661	37.8739	36.6864
Lena				
4	0.9972	0.9964	51.7214	50.5071
8	0.9902	0.9880	45.8750	44.7963
12	0.9814	0.9779	42.7512	41.7489
16	0.9724	0.9679	40.6773	39.7421
20	0.9631	0.9577	38.9593	38.0843

Продовження таблиці 3.4

Peppers				
4	0.9972	0.9964	51.7217	50.4705
8	0.9903	0.9875	45.9013	44.6846
12	0.9811	0.9763	42.5833	41.4676
16	0.9718	0.9651	40.4275	39.3707
20	0.9620	0.9541	38.8708	37.8574
Zena				
4	0.9968	0.9960	52.6874	51.5315
8	0.9823	0.9903	47.8125	46.6538
12	0.9866	0.9832	44.8883	43.7475
16	0.9804	0.9752	42.8679	41.6511
20	0.9735	0.9668	41.2407	40.0447

Збільшення значення коефіцієнта масштабування вплине на якість зображення з водяним знаком. Схема також оцінюється за допомогою SSIM, як показано в таблиці 3.4. Значення SSIM лежать у діапазоні від 0,9620 до 0,9987.

ВИСНОВКИ

У цій роботі розглянуто два нові алгоритми, що використовують одновимірне кодування Уолша з чотирма та вісьмома довжинами Уолша для вбудовування водяних знаків в область ДКП зображень у відтінках сірого. Перший новий алгоритм було запропоновано для вбудовування рукописних підписів у низькочастотну область зображення обкладинки. Другий інноваційний алгоритм було представлено для вбудовування номерів мобільних телефонів у ДКП основного зображення. Обидва алгоритми є стійкими до стиснення JPEG і поширених атак на водяні знаки при обробці зображень. Результати моделювання показали, що використання кодування Уолша перед вбудовуванням забезпечує стійкість до атак і покращує якість зображення з водяними знаками. У представлених алгоритмах досліджувалася ефективність використання різних коефіцієнтів масштабування з точки зору стійкості та невидимості. Алгоритми не могли впоратися з поворотом, оскільки коефіцієнти ДКП дуже чутливі до найменших кутів повороту. Спотворення, спричинені алгоритмами водяних знаків, не є видимими, і їх оцінювали за допомогою PSNR та SSIM. Однак ці алгоритми були розроблені лише для зображень з рівнем сірого.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Megías, David, Wojciech Mazurczyk, and Minoru Kuribayashi. "Data hiding and its applications: Digital watermarking and steganography." Applied Sciences 11.22 (2021): 10928.
2. Begum, Mahbuba, and Mohammad Shorif Uddin. "Digital image watermarking techniques: a review." Information 11.2 (2020): 110.
3. Kadian, Poonam, Shiafali M. Arora, and Nidhi Arora. "Robust digital watermarking techniques for copyright protection of digital data: A survey." Wireless Personal Communications 118 (2021): 3225-3249.
4. Burger, Wilhelm, and Mark J. Burge. Digital image processing: An algorithmic introduction. Springer Nature, 2022.
5. Zhang, Xian-Da. Modern signal processing. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2022.
6. Q. Huynh-Thu and M. Ghanbari, Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment, Electronics Letters, 2008, Vol. 44, pp. 800-801
7. Ding, Keyan, et al. "Image quality assessment: Unifying structure and texture similarity." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 44.5 (2020): 2567-2581.
8. Moad, Med Sayah, Mohamed Redouane Kafi, and Amine Khaldi. "Medical image watermarking for secure e-healthcare applications." Multimedia Tools and Applications 81.30 (2022): 44087-44107.
9. Kumar, Sanjay, Binod Kumar Singh, and Mohit Yadav. "A recent survey on multimedia and database watermarking." Multimedia Tools and Applications 79.27 (2020): 20149-20197.
10. Tang, Yichao, et al. "A Robust Reversible Watermarking Scheme Using Attack-Simulation-Based Adaptive Normalization and Embedding." IEEE Transactions on Information Forensics and Security (2024).
11. Chang, Qinwei, et al. "Blind robust video watermarking based on

adaptive region selection and channel reference." Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia. 2022.

12. І. С. Зубко, В. О. Мартовицький, А. В. Пунченко, Д. Д. Карачевцев " ОГЛЯД МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗОБРАЖЕНЬ " Системи управління, навігації та зв'язку. 2024. No 3 с. 95-99