

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 синхронізації цифрових водяних знаків
в відеофайлах

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПМ-22-6
Пунченко П. В.
(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

(підпис)

Коваленко А.А.

(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 _____ Пунченко Поліні Вячеславівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Метод синхронізації цифрових водяних знаків в відеофайлах _____

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 _____ Набір відеокліпів _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) Огляд предметної області _____

2) Огляд методів стеганографії _____

3) Розробка запропонованого методу _____

4) Проведення експерименту _____

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 області	02.04.24-08.04.24	
2	Огляд підходів до ЦВЗ	09.04.24-16.04.24	
3	Розробка методу	17.04.24-22.04.24	
4	Проведення експериментів	23.04.24-06.05.24	
5	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	07.05.24-23.05.24	
6	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	24.05.24-03.06.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	04.06.24-07.06.24	

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 54 с., 12 рис., 3 табл., 1 дод., 15 джерел.

ВІДЕОФАЙЛИ, ЦИФРОВІ ВОДЯНІ ЗНАКИ, СИНХРОНІЗАЦІЯ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ, ЗАХИСТ АВТОРСЬКИХ ПРАВ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка та впровадження методу синхронізації цифрових водяних знаків у відеофайлах, що базується на використанні автокореляційної функції та локальної автокореляційної функції. Запропонований метод повинен забезпечувати високу стійкість водяних знаків до різних видів обробки відео, зберігаючи їх непомітність для глядачів.

Для досягнення поставленої мети у роботі були визначені такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів синхронізації цифрових водяних знаків у відеофайлах;
- розробити алгоритм синхронізації водяних знаків з використанням автокореляційної функції;
- впровадити локальну автокореляційну функцію для покращення непомітності водяних знаків;
- провести моделювання та тестування розробленого методу на різних відеофайлах;
- оцінити ефективність та стійкість водяних знаків до різних видів атак.

ABSTRACT

Master's thesis: 54 pages, 12 figures, 3 tables, 1 appendices, 15 sources.

VIDEO FILES, DIGITAL WATERMARKS, WATERMARK SYNCHRONISATION, COPYRIGHT PROTECTION, INTELLECTUAL PROPERTY.

The major goal of this thesis is to develop and implement a method for synchronising digital watermarks in video files based on the use of an autocorrelation function and a local autocorrelation function. The proposed method should provide high robustness of watermarks to various types of video processing, while maintaining their invisibility to viewers.

To achieve this goal, the following tasks were defined in the paper:

- analyse existing methods for synchronising digital watermarks in video files;
- develop an algorithm for synchronising watermarks using an autocorrelation function;
- implement a local autocorrelation function to improve the invisibility of watermarks;
- to simulate and test the developed method on different video files;
- evaluate the effectiveness and resistance of watermarks to various types of attacks.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Захист контенту	10
1.2 Шифрування	11
1.3 Нанесення водяних знаків	12
2 РОЗГЛЯД МЕХАНІЗМІВ ВНЕСЕННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ.....	18
2.1 Огляд водяних знаків.....	18
2.2 Систематизація атак на цифрові водяні знаки	20
2.3 Огляд підходів нанесення водяних знаків на зображення.....	23
3 ПОКРАЩЕНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНОЇ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ.....	25
3.1 Постановка проблеми	25
3.2 Вбудовування водяних знаків.....	27
3.3 Виявлення водяних знаків.....	30
3.4 Результати експериментальних досліджень.....	38
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	45
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	47

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

АС – автокореляційна функція

Відео – відеофайл або відеоконтент

ЛАС – локальна автокореляційна функція

ЦВЗ – цифрові водяні знаки

DCT – дискретне косинусне перетворення (англ., Discrete Cosine Transform)

JPEG – формат зображення (англ., Joint Photographic Experts Group)

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

SSIM – індекс структурної подібності (англ., Structural Similarity Index)

ВСТУП

З розвитком цифрових технологій та масовим поширенням відеоконтенту виникає необхідність у захисті авторських прав та інтелектуальної власності. Цифрові водяні знаки стали ефективним засобом захисту відеофайлів від нелегального копіювання та розповсюдження. Проте, існуючі методи вбудовування водяних знаків часто стикаються з проблемами стійкості до різних видів атак та обробки відео. Тому актуальним є розробка методів, які забезпечують високу стійкість та непомітність водяних знаків.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка та впровадження методу синхронізації цифрових водяних знаків у відеофайлах, що базується на використанні автокореляційної функції та локальної автокореляційної функції. Запропонований метод повинен забезпечувати високу стійкість водяних знаків до різних видів обробки відео, зберігаючи їх непомітність для глядачів.

Для досягнення поставленої мети у роботі були визначені такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів синхронізації цифрових водяних знаків у відеофайлах;
- розробити алгоритм синхронізації водяних знаків з використанням автокореляційної функції;
- впровадити локальну автокореляційну функцію для покращення непомітності водяних знаків;
- провести моделювання та тестування розробленого методу на різних відеофайлах;
- оцінити ефективність та стійкість водяних знаків до різних видів атак.

Об'єктом дослідження є методи захисту відеоконтенту за допомогою цифрових водяних знаків. Предметом дослідження є процес синхронізації

цифрових водяних знаків у відеофайлах з використанням автокореляційної та локальної автокореляційної функцій.

У роботі використано методи цифрової обробки сигналів, зокрема, автокореляційний аналіз, а також програмні засоби для моделювання та тестування розробленого методу. Розробка алгоритму та проведення експериментів здійснювались з використанням мови програмування Python та спеціалізованих бібліотек для обробки відео.

1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Захист контенту

Захист контенту [2] є складною проблемою, яка включає в себе конфліктуючі інтереси. Власники контенту хочуть гарантувати, що їхня інтелектуальна власність не буде використана не за призначенням, незаконно скопійована або розповсюджена. Виробники пристроїв прагнуть, щоб їхня продукція була недорогою і простою, однак впровадження технологічних заходів захисту контенту збільшує вартість і складність пристроїв. Виробники пристроїв також прагнуть мінімізувати ризик виведення на ринок пристроїв, які обмежують або обмежують діяльність користувачів, оскільки вони знають, що потенційні клієнти (значною мірою) уникають таких пристроїв. Користувачі хочуть, щоб їхні юридичні привілеї (такі як право першого продажу та добросовісного використання) [1] та конфіденційність [2] були захищені. Користувачі не бажають платити за пристрої, які є дорожчими, складнішими, менш сумісними (інтероперабельними) та обмежують їхню діяльність. Користувачі побоюються, що на них ляжуть витрати на системи захисту контенту, хоча основними бенефіціарами таких систем є власники та провайдери контенту.

На додаток до правових ініціатив, власники контенту також шукають технічні заходи для захисту своїх творів. Технічні заходи захисту контенту зазвичай використовують три підходи: контроль доступу, захист від копіювання та відстеження контенту.

Метою контролю доступу є забезпечення того, щоб відео було доступним лише за правилами або умовами, визначеними власником контенту. Наприклад, власник може вказати, що відео можуть переглядати лише певні користувачі, або що відео можна переглядати обмежену кількість разів, або що за кожен перегляд відео потрібно платити. Однак сам по собі

контроль доступу забезпечує обмежений захист, оскільки в певний момент відео буде надано користувачеві. Коли це станеться, контроль доступу не завадить користувачеві створювати незаконні копії або використовувати відео не за призначенням.

Захист від копіювання [3] запобігає або ускладнює створення копій. Копії відео можуть бути створені в цифровому вигляді або шляхом запису відео в тому вигляді, в якому воно демонструється користувачеві.

Запис відео в тому вигляді, в якому воно демонструється, з метою обходу або усунення технічних засобів захисту контенту називається використанням "аналогової діри" [4]. Система захисту від копіювання ідентифікує відео, захищене від копіювання, а потім використовує певні засоби, щоб запобігти або ускладнити створення копій. На жаль, захист від копіювання є дуже складним завданням, і методи захисту від копіювання постійно зазнають поразки.

Відстеження контенту – це засіб захисту відео, навіть якщо контроль доступу та захист від копіювання обходять. При відстеженні контенту кожна легітимна копія відео персоналізується або індивідуалізується шляхом вбудовування інформації, що вказує на користувача, який зберігає цю копію. Якщо копію відео виявляють у підозрілому місці (наприклад, якщо вона поширюється за допомогою програмного забезпечення P2P), слідчий може витягти вбудовану інформацію з копії і визначити джерело або походження підозрілої копії. Власник контенту може вирішити вжити заходів, якщо знайдено багато підозрілих копій.

1.2 Шифрування

Контроль доступу часто вирішується за допомогою шифрування. Шифрування [5] – це процес перетворення даних у нерозбірливу форму. Вихідні дані відомі як відкритий текст, а зашифровані дані відомі як зашифрований текст. Зворотний процес отримання відкритого тексту із

зашифрованого називається розшифруванням. Шифрування забезпечує конфіденційність, оскільки для розшифрування необхідний секретний ключ. Традиційно шифрування використовується для забезпечення конфіденційності конфіденційної інформації (наприклад, електронної пошти, військової таємниці та фінансової інформації), що передається незахищеним каналом зв'язку. Для контролю доступу відео шифрується, а ключ для розшифровки надається лише після виконання умов доступу. Отримання самого лише зашифрованого відео (без ключа розшифровки) не дозволяє його відтворення.

Істотним обмеженням шифрування є те, що воно не забезпечує жодного захисту після розшифрування відео. Це означає, що одного лише шифрування недостатньо для захисту контенту, і для захисту відео після розшифрування потрібен інший метод. Для забезпечення більш тривалого захисту було запропоновано використання водяних знаків.

1.3 Нанесення водяних знаків

Цифрове нанесення водяних знаків [5-9] – це непомітне введення сигналу, відомого як водяний знак, у вихідне відео. Водяний знак кодує або відтворює інформацію, яка може захистити відео, зазвичай ідентифікуючи власника (джерело) або передбачуваного одержувача (призначення) відео. Процес накладання водяного знаку вносить спотворення, однак технології накладання водяних знаків використовують евристики або моделі сприйняття [5], щоб приховати присутність водяного знаку, вбудованого у відео з водяним знаком. В ідеалі, відео з водяними знаками та оригінальне відео не відрізняються за сприйняттям при відтворенні. Вбудований водяний знак можна виявити за допомогою детектора водяних знаків, який дозволяє програмі реагувати на наявність (або відсутність) водяного знаку у відео. Крім відео, методи нанесення водяних знаків були запропоновані для захисту зображень, аудіо, тексту та інших типів даних [6].

Проблемою при нанесенні водяних знаків є те, що обробка відео з водяними знаками може призвести до переміщення або пошкодження вбудованого водяного знаку, або ускладнити його виявлення. Відео з водяними знаками може бути оброблене з багатьох причин, включаючи звичайну обробку, яка відбувається в додатку; ненавмисне пошкодження або втрату під час зберігання, пошуку або передачі через мережу; або навмисну обробку (ворожим) користувачем з метою видалення вбудованого водяного знаку. Обробка відео з водяними знаками відома як атака, незалежно від того, чи є така обробка зловмисною чи ні.

На додачу до прозорого для сприйняття вбудовування, іншою метою водяних знаків є стійкість до атак. Детектор водяних знаків повинен виявляти водяний знак у відео з водяними знаками, навіть якщо відео було піддано атаці. Водяний знак повинен бути надійно вбудований і його важко видалити, так, щоб вбудований водяний знак був постійною і невід'ємною частиною відео з водяним знаком.

Хоча захист контенту (включаючи відстеження контенту) часто згадується як мотивація для цифрового водяного маркування, водяні знаки можуть використовуватися і в інших сферах. Застосування та потенційні можливості використання водяних знаків включають [2, 7].

Відстеження контенту: Власник персоналізує кожен копію контенту, вбудовуючи в неї водяний знак. Вбудований водяний знак ідентифікує користувача, який володіє цією копією. Будь-які наступні цифрові копії, зроблені з контенту з водяним знаком, також будуть позначені водяним знаком. Якщо виявлено підозрілу копію контенту, виявлення водяного знаку вказує на джерело підозрілої копії. Ці водяні знаки іноді називають відбитками пальців.

Відстеження контенту не обов'язково спрямоване на окремих користувачів. Наприклад, розглянемо масове виробництво попередньо записаного відео. Припустімо, що власник відео звертається до різних мастерингових та дистриб'юторських компаній для створення та

розповсюдження відео на носіях. Однак власник занепокоєний тим, що деякі компанії можуть мати недостатні заходи безпеки для захисту відео. Недобросовісні компанії або співробітники можуть навіть вступати в змову, щоб "злити" нелегальні копії піратам. Щоб відстежити порушення безпеки, власник вбудовує різні водяні знаки в копії, які він надає кожній компанії, що займається мастерингом. Якщо нелегальні копії виявляються до офіційного релізу відео, власник відео виявляє водяний знак, щоб ідентифікувати компанію, чия безпека була порушена. Тоді власник контенту може вирішити не мати справи з цією компанією в майбутньому. Аналогічне застосування можна знайти і в цифровому кіно, де власник фільму стурбований змовою між деякими власниками кінотеатрів і піратами.

Ідентифікація власника або авторських прав: У водяних знаках авторського права вбудований водяний знак кодує інформацію про власника, наприклад, особу власника і дату авторського права. Виявлення водяного знаку надає власнику контенту додаткові докази права власності у разі виникнення суперечки. Вбудована інформація також може бути корисною для виявлення або демонстрації плагіату, особливо коли водяний знак виявляється в нібито оригінальному контенті від третьої сторони.

Захист від копіювання: Наявність водяного знаку ідентифікує вміст, захищений водяним знаком, як захищений від копіювання. Пристрій, який підпорядковується протоколу захисту від копіювання, виявляє водяний знак, а потім забороняє створення копій. Деякі схеми захисту від копіювання дозволяють користувачеві створювати копію одного покоління, але обмежують його у створенні додаткових копій з копії [8]. У таких схемах вбудований водяний знак може кодувати таку інформацію, як "завжди дозволяти додаткові копії", "дозволяється лише одна додаткова копія" та "більше копій не дозволяється". Використання водяних знаків у такий спосіб вимагає співпраці з записуючими пристроями для виявлення водяного знаку та запобігання несанкціонованому копіюванню. Вбудований водяний знак не

запобігає копіюванню відео, якщо пристрій запису не виявляє або ігнорує водяний знак.

Моніторинг мовлення [8]: вбудований водяний знак може бути використаний для розпізнавання або ідентифікації сигналу, що становить інтерес, особливо коли сигнал був склеєний або об'єднаний з іншими сигналами. Розпізнавання відбувається, коли виявляється водяний знак. Наприклад, рекламодавець хоче переконатися, що певна реклама транслюється відповідно до контракту. Верифікація та аудит є важливими міркуваннями, коли виробництво та розповсюдження відеоконтенту, в тому числі реклами, розважального контенту та новин, мають величезну економічну цінність.

Аутентифікація: здатність виявляти змінені або підроблені відео є критично важливою для таких застосувань, як відеоспостереження . Вбудований водяний знак кодує інформацію, необхідну для перевірки цілісності сигналу з водяним знаком . У разі виявлення змін, водяний знак дозволяє ідентифікувати змінені ділянки (хоча і не обов'язково характер змін). Автентифікація також охоплює захист від підробок, коли водяні знаки вбудовуються для того, щоб ускладнити створення нелегітимного контенту (в тому числі нелегітимних копій). Наприклад, водяні знаки були запропоновані для захисту таких документів, як посвідчення особи та паспорти .

«Розумний» контент: вбудований водяний знак може використовуватися разом з пристроями для надання додаткових функцій або послуг, які приносять користь користувачеві. Наприклад, водяний знак, вбудований у музичне відео, може містити посилання на інтернет-сайт виконавця, що дозволяє користувачеві придбати його (її) роботи.

Надійне приховування даних або стеганографія: вбудований водяний знак може використовуватися як прихований канал для передачі повідомлень від одного користувача до іншого. Наприклад, відправник вбудовує водяний знак у відео, кодуючи секретне повідомлення у водяному знаку. Потім відео з

водяним знаком надається одержувачу (одержувачам), можливо, за допомогою незахищеного каналу або шляхом розміщення відео у відкритому доступі. Оскільки відео з водяним знаком і оригінальне відео схожі за сприйняттям, передача секретного повідомлення маскується шляхом використання оригінального відеосигналу як нешкідливого прикриття. Одержувач (одержувачі) виявляє і розшифровує водяний знак, щоб отримати секретну інформацію.

Тип атаки, якому приділяється значна увага в області водяних знаків, – це атаки синхронізації. Атака синхронізації вводить детектор водяних знаків в оману, переміщуючи або перепозиціонуючи вбудований водяний знак. Якщо детектор водяних знаків не може визначити, де знаходиться водяний знак в атакованому відео, більшість детекторів водяних знаків не зможуть виявити водяний знак. Це основна вразливість у виявленні водяних знаків. Якщо водяний знак не вдається виявити, то він не надає жодних переваг або захисту в додатку. Часто легше ввести в оману детектор водяних знаків за допомогою атаки на синхронізацію, ніж видалити або знищити вбудований водяний знак, і насправді багато атак на синхронізацію є простими або навіть тривіальними у виконанні.

Процес визначення положення водяного знаку відомий як синхронізація детектора водяних знаків. Синхронізація – це, як правило, пошук, щоб виявити, де водяний знак було змінено в сигналі з водяним знаком. Хоча сліпий, вичерпний пошук не є практичним, було запропоновано різноманітні стратегії для скорочення пошуку. Деякі методи нанесення водяних знаків вирішують проблеми синхронізації, розробляючи водяний знак таким чином, щоб його повторне позиціонування було складнішим. Інші методи пропонують розробку шаблону, відомого як шаблон, який дозволяє детектору водяних знаків використовувати інформований пошук для виявлення позиції водяного знаку. Легкість, з якою атаки на синхронізацію можуть унеможливити виявлення водяних знаків, створених сучасними

методами нанесення водяних знаків, спонукає до пошуку методів ефективної синхронізації.

Ефективна синхронізація є основною темою цієї роботи. На відміну від більшості інших робіт, які просто пропонують шаблон або техніку синхронізації, розроблено моделі синхронізації, які дозволяють глибше зрозуміти, чому синхронізація відносно проста для одних водяних знаків, але значно складніша для інших. Зокрема, коли синхронізація розглядається як інформований пошук, надмірність сигналу водяного знаку впливає на складність синхронізації. Моделі також дозволяють розробляти водяні знаки, які мають демонстративну стійкість до атак синхронізації.

2 РОЗГЛЯД МЕХАНІЗМІВ ВНЕСЕННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

2.1 Огляд водяних знаків

Цифровий водяний знак [8-15] – це технологія вбудовування інформації у вихідний сигнал у непомітний і безпечний спосіб, а також подальше виявлення вбудованої інформації з сигналу з водяним знаком. Сигнал з водяним знаком може бути атакований або змінений до того, як він стане доступним для детектора водяних знаків. Ці три процеси – вбудовування, атака та виявлення водяного знаку – є основними для нанесення водяного знаку і показані на рисунку 2.1. Кожен з цих фундаментальних процесів буде детально розглянуто нижче.

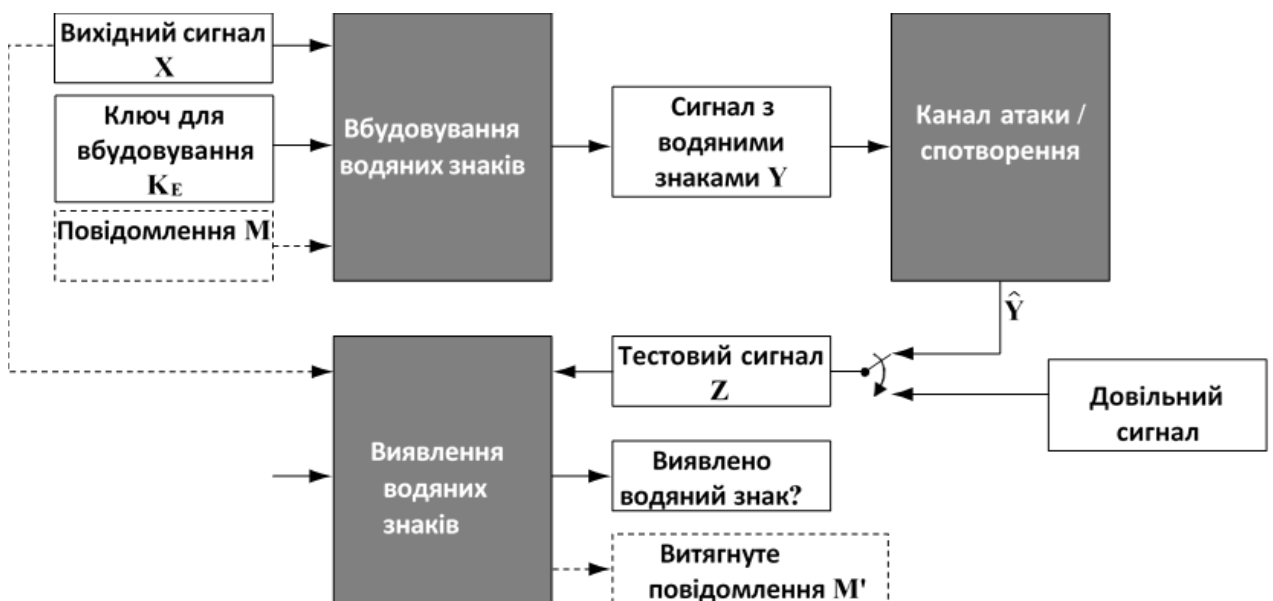


Рисунок 2.1 – Класична модель нанесення водяних знаків

Вбудовування водяного знаку – це процес кодування інформації у вигляді водяного знаку, а потім вставки водяного знаку в оригінальний сигнал для отримання сигналу з водяним знаком. Програма вбудовування

водяних знаків приймає на вхід оригінальний сигнал X , ключ вбудовування K_E та повідомлення M і виробляє сигнал з водяним знаком Y . Сигнал з водяним знаком містить вбудований водяний знак і тому не є ідентичним вихідному сигналу. Тим не менш, оригінальний сигнал і сигнал з водяними знаками повинні бути схожими на вигляд при звичайному спостереженні. Різні сигнали можуть бути схожими через обмеження людського сприйняття, що робить можливим накладання водяних знаків (і стиснення з втратами) для візуальних і слухових сигналів.

Оригінальний сигнал X – це сигнал, в який буде вбудовано водяний знак. Після створення сигналу з водяним знаком оригінальний сигнал стає захищеним. Використання водяного знаку не надає ніякого захисту або переваг оригінальному сигналу, оскільки оригінальний сигнал не має водяного знаку. Необмежений доступ до оригінального сигналу суперечив би меті використання водяних знаків.

Ключ вбудовування K_E – це секрет, необхідний для генерації та вбудовування водяного знаку. Метод накладання водяних знаків зазвичай дозволяє вбудовувати багато водяних знаків і не обмежується вбудовуванням одного конкретного водяного знака. З точки зору вбудовувача, K_E - це параметр, який визначає, який саме водяний знак вбудовувати. Кожен (вибір) K_E ідентифікує окремий водяний знак. З ширшої точки зору, знання K_E надає можливість вбудовувати водяні знаки. Тобто, вбудувати водяний знак, знаючи відповідний K_E , дуже просто. Однак, вбудовування водяного знаку без знання K_E має бути дуже складним, навіть при повному знанні всіх принципів роботи програми для вбудовування водяних знаків.

Множина всіх ключів вбудовування називається простором ключів вбудовування, K_E , і $K_E \in K_E$. Кардинальність простору ключів, або $|K_E|$, зазвичай дуже велика.

Деталь, на яку слід звернути увагу при використанні водяних знаків, – це управління ключами. Одним з аспектів управління ключами є призначення ключів одержувачам, власникам, користувачам та іншим суб'єктам у додатку.

Наприклад, додаток, що вбудовує водяні знаки для вираження права власності, призначає унікальний K_E кожному власнику. Управління ключами, однак, не є предметом розгляду в цій роботі. Тут достатньо того, що кожен K_E відповідає окремому водяному знаку.

Вбудовування водяного знаку – це двоетапний процес, показаний на рисунку 2.2. Спочатку сигнал водяного знаку W створюється генератором водяних знаків за допомогою K_E та M . Хоча конкретні методи, за допомогою яких будується W , залежать від методу створення водяного знаку, багато методів створення водяних знаків створюють W за допомогою генератора псевдовипадкових чисел (PRNG).

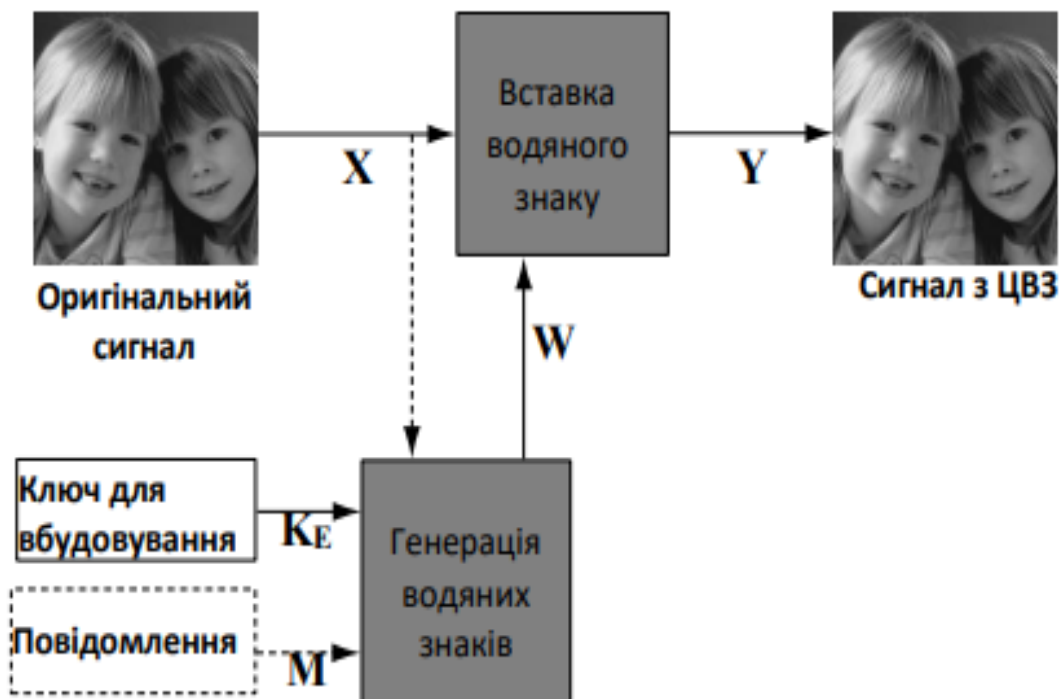


Рисунок 2.2 – Вбудовування водяного знаку

2.2 Систематизація атак на цифрові водяні знаки

Будь-яку процедуру, яка може знизити результативність методу нанесення водяних знаків, можна назвати атакою. Тестування стійкості та

безпеки методу нанесення водяних знаків до атак є настільки ж важливим, як і процес розробки. Атаки не завжди видаляють або знищують водяний знак, але також унеможливають його виявлення. Спотворення, спричинені будь-якими атаками, погіршують функціонування методу нанесення водяних знаків.

Загалом, атаки на цифрові водяні знаки можна розділити на два класи, а саме: ненавмисні та навмисні атаки. Щоб досягти високої надійності виявлення цифрових водяних знаків, процес виявлення повинен бути стійким до змін у даних, спричинених як ненавмисними, так і навмисними атаками.

Ненавмисні атаки відбуваються за допомогою операцій обробки сигналів над даними з цифровими водяними знаками, а саме: стиснення, друк, сканування, фільтрація, зашумлення, геометричні перетворення, обрізання тощо. Наприклад, мультимедійні дані зазвичай зберігаються у стислому форматі з втратами для того, щоб використовувати менше пам'яті. Ці алгоритми стиснення відкидають неважливі частини даних. Таке спотворення може призвести до пошкодження даних із вставленими водяними знаками. Це означає, що проста атака полягає в стисненні мультимедійних даних з втратами. Крім того, обертання або масштабування може змінити значення пікселів і знищити дані водяного знаку.

Операції обробки сигналу, такі як квантування, декомпресія, повторна вибірка і зменшення кольору, можуть зіпсувати водяний знак. У випадку навмисних атак, людина може цілеспрямовано атакувати вставлені дані цифрового водяного знаку, щоб скопіювати мультимедійні дані.

В обох випадках будь-який метод нанесення цифрових водяних знаків повинен бути здатним виявити і витягти водяний знак після атаки. Таксономія різних навмисних і ненавмисних атак на методи нанесення водяних знаків наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Систематизація атак на водяні знаки

Атака	Короткий опис
Шум	Будь-який випадковий небажаний сигнал із заданим розподілом, а саме: гауссіан, «сіль і перець», Пуассона.
Фільтрація	Атаки типу фільтрації – це лінійна фільтрація, а саме: фільтрація нижніх/середніх частот, гауссова фільтрація, фільтрація з підвищенням різкості тощо.
Стиснення	Якщо цифровий водяний знак повинен протистояти різним рівням стиснення, зазвичай рекомендується виконувати вбудовування водяного знаку в той самий домен, де відбувається стиснення.
Множинні водяні знаки	Одним з рішень такого типу проблем є включення інформації про час нанесення ЦВЗ сертифікаційним центром
Геометричні атаки	Геометричні атаки спотворюють цифровий водяний знак шляхом просторових змін зображення. Найпоширенішими геометричними атаками є обертання, масштабування тощо.
Обрізання	Це дуже поширена атака, яка обрізає потрібну область від зображення з цифровим водяним знаком.
Атаки на видалення водяних знаків і перешкоди	Мета таких атак – визначити або підмінити водяний знак.
Статистичне узагальнення	Метою таких атак є відновлення основного зображення та/або даних водяного знаку шляхом статистичного дослідження декількох наборів даних з водяними знаками.

Зазначимо, що з розвитком технологій захисту й аналізу цифрових даних, з'являються нові методи захисту від цих атак, а також нові способи їх виявлення та протидії.

2.3 Огляд підходів нанесення водяних знаків на зображення

Цифрове зображення може бути представлене/зберігатися або в просторово-часовій області, або в області перетворень. Зображення в просторово-часовій області характеризується пікселями, тоді як зображення в області перетворення описується в термінах його коефіцієнтів перетворення. Іншими словами, представлення зображення в області перетворення розділяє коефіцієнти перетворення на декілька частотних діапазонів. Для перетворення зображення в область перетворення можна використовувати різні доступні методи зворотнього перетворення, а саме: дискретне перетворення Фур'є (DFT), дискретне косинусне перетворення (DCT), дискретне вейвлет-перетворення (DWT), кероване пірамідальне перетворення (SPT) та інші. Кожен з цих методів перетворення має свої специфічні характеристики та представлення зображення.

Нанесення водяних знаків на цифрові зображення – це процес непомітного вбудовування водяного знаку (у вигляді підпису, випадкової послідовності або якогось зображення) в зображення (носій або обкладинку), який може бути використаний для перевірки автентичності його власника. Отримане в результаті цього процесу зображення називається зображенням з водяним знаком. Методи нанесення водяних знаків можуть виконуватися як у просторовій області, так і в області перетворень. У просторовому методі водяні знаки можуть бути вбудовані в зображення шляхом зміни значень пікселів або значень найменш значущих бітів (LSB). У той час як у методі на основі домену перетворення водяний знак може бути вбудований шляхом модифікації коефіцієнтів домену перетворення. Однак, більш стійкий водяний знак може бути вбудований в область перетворення зображень шляхом модифікації коефіцієнтів області перетворення порівняно з методом водяного маркування зображень на основі просторової області

Метод нанесення водяних знаків на основі просторового доменного підходу, приховує дані водяного знаку дані водяного знаку в значеннях

пікселів основного зображення. Цей клас методів вносить незначні незначні зміни в інтенсивності пікселів основного зображення.

Одним з найпоширеніших прикладів такого методу є вбудовування водяного знаку в LSB пікселів зображення. Іншими словами, значна частина низькочастотних компонентів зображення повинна бути модифікована для того, щоб вставити дані водяного знаку надійним і стійким способом. Інший приклад: зображення розбивається на однакові за розміром блоки, і до підблоків додаються певні дані водяного знаку. Непомітність даних водяного знаку досягається на основі постулату, що біти LSB є візуально незначущими. Хоча метод просторових доменних водяних знаків може бути легко реалізований і дуже швидкий, він має багато недоліків. Ці методи дуже чутливі до звичайних операцій обробки сигналів і можуть бути легко порушені та послаблені. Наприклад, стиснення з втратами може повністю знищити дані водяного знаку. Таким чином, просторовий метод нанесення водяних знаків дуже легко зруйнувати за допомогою деяких атак, таких як низькочастотна фільтрація, адитивний шум тощо. Іншими словами, методи просторового доменного водяного маркування зображень не є стійкими до звичайних операцій обробки сигналу на основному зображенні.

Області перетворення зображення – це просто інша форма представлення. Воно не змінює вміст, присутній у зображенні. Методи водяного маркування зображень на основі трансформованих доменів мають багато переваг над методами на основі просторових доменів. Як зазначено в літературі, методи водяного маркування зображень на основі трансформованих доменів є більш стійкими до різних атак на водяні знаки та операцій обробки сигналів, оскільки домен перетворення не використовує вихідне зображення для нанесення даних водяного знаку. Крім того, водяні знаки на основі домену перетворення розподіляють дані водяного знаку по всій частині основного зображення. Крім того, методи на основі перетворення доменів здатні вбудовувати більше бітів водяного знаку в основне зображення і є більш стійкими до атак.

3 ПОКРАЩЕНА СИНХРОНІЗАЦІЯ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНОЇ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ

3.1 Постановка проблеми

Кінематографічні кадри, зняті відеокамерою, зазнають перспективно-проекційних спотворень при зміні положення та/або кута огляду відеокамери. У цій ситуації відстані та кути не зберігаються, а паралельні прямі не проектуються на паралельні прямі, якщо вони не паралельні площині зображення. Нехай $x = (x_1, x_2, x_3)^T$ – однорідний вектор, який представляє точку у вихідному кадрі, а $x' = (x'_1, x'_2, x'_3)^T$ – однорідний вектор, який представляє точку у геометрично спотвореному кадрі. Проекційне перетворення – це лінійне перетворення на однорідних 3-векторах, представлених несингулярною матрицею 3×3 :

$$x' = Hx, \text{ де } H = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix}. \quad (3.1)$$

Для оцінки проективного перетворення необхідно отримати всі дев'ять параметрів (a, \dots, i) матриці H . Враховуючи, що матриця H є однорідною, ступінь свободи (DOF) H дорівнює 8, навіть якщо H складається з дев'яти констант, а i дорівнює 1, якщо тільки точка $0,0$ не відповідає точці на нескінченності при матричному перетворенні. Якщо зображення мішені проектується горизонтально, то b і h дорівнюють нулю, а якщо зображення мішені проектується вертикально, то d і g дорівнюють нулю. Нехай неоднорідні координати пари точок x і x' дорівнюють (x, y) і (x', y') , відповідно. (x, y) обчислюються за формулами $(x1/x3, x2/x3)$, а (x', y') отримуються за формулами $(x1'/x3', x2'/x3')$. Таким чином, потрібні принаймні

вихідні x , y та перетворені x' , y' координати чотирьох точок. Будь-який набір з трьох з них повинен бути колінеарним.

Схеми водяних знаків, засновані на автокореляційній функції АСФ, зазвичай використовуються для захисту від афінних перетворень і спотворень при обробці сигналів. АСФ обробляє афінні перетворення, вбудовуючи періодичні шаблони водяних знаків. Використовуючи періодичність, в АСФ водяного знака знаходять періодичні піки. Розглядаючи піки, детектор водяних знаків оцінює, які геометричні спотворення відбулися і наскільки сильно було змінено зображення, обчислюючи інтервали і кути між точками піків. Приховане повідомлення витягується після інвертування геометричних спотворень. Отже, правильне визначення періодичних піків є вирішальним для виявлення водяних знаків. Завдяки тому, що афінне перетворення зберігає колінеарність між точками, співвідношення відстаней вздовж лінії та паралельність ліній, загальна картина піків не змінюється, навіть якщо початкове положення періодичних піків зміщується. Отже, АСФ може оцінити афінне перетворення. Однак у випадку проекційного перетворення АСФ не може виділити періодичні піки, оскільки проекційне перетворення не зберігає співвідношення відстаней вздовж лінії та паралельність ліній. Спроектовані піки зміщуються, і загальна картина піків змінюється.

На рисунку 3.1 показано результати застосування АСФ до зображень, які були піддані геометричній атаці, та графік, на якому зображено піки, що були вилучені АСФ. АСФ правильно оцінює піки на зображенні з водяними знаками, яке не зазнало атаки, і на повернутому зображенні, як показано на рисунку 3.1 а і 3.1 б відповідно. Однак він не може ідентифікувати проекційне перетворення, оскільки обчислює автокореляцію всього водяного знаку, структура якого не є регулярною. На рисунку 3.1 с показано, що АСФ не може виділити правильні піки водяного знаку.

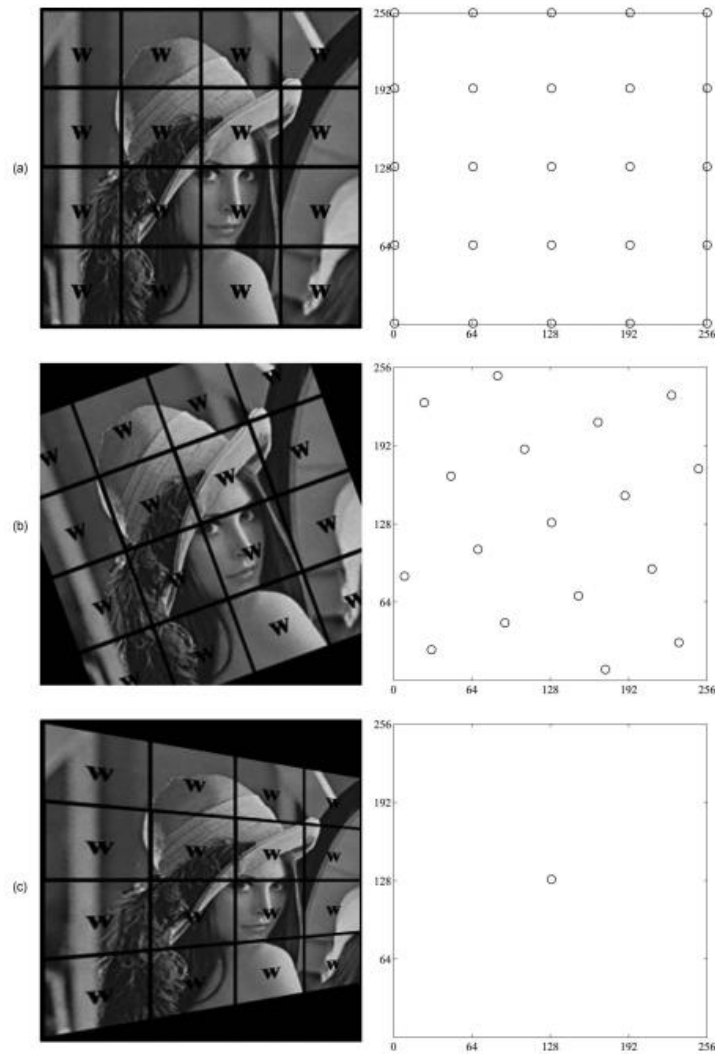


Рисунок 3.1 – Зображення з водяними знаками та виділені піки за допомогою ACF: а) без атаки; б) поворот на 20 градусів; с) горизонтальна проекція на 20 градусів

3.2 Вбудовування водяних знаків

Тут описується, як водяний знак вбудовується у відеокадр. На рисунку 3.2 показано процедуру вбудовування, яка розроблена для задоволення вимог цифрового кіно. Спочатку генерується шаблон водяного знаку, а потім вставляється в частину відеокадрів з урахуванням зорової системи людини HVS. У представленій схемі шаблон водяного знаку використовується двома способами:

- перший, для оцінки та відновлення геометричних спотворень;
- другий, для вилучення вбудованого повідомлення.

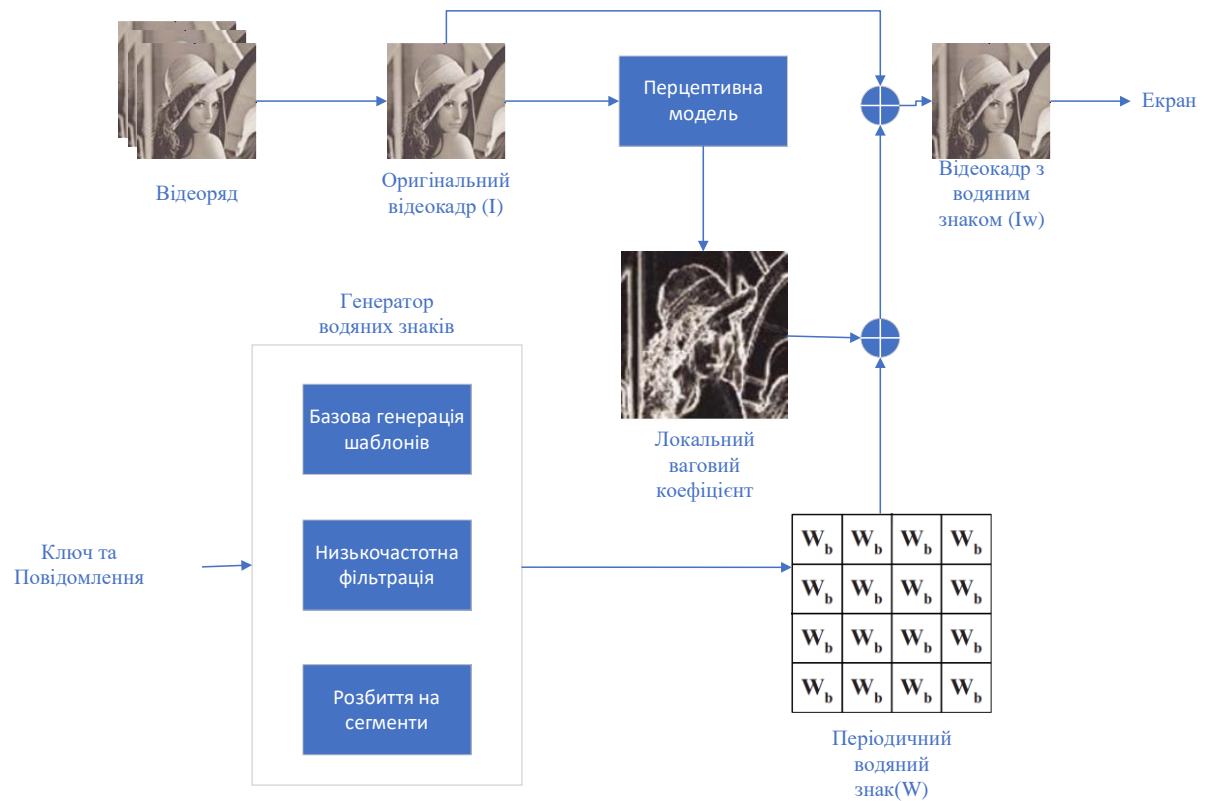


Рисунок 3.2 – Процедура вбудовування водяного знаку

Для того, щоб LACF міг оцінити геометричні спотворення, шаблон водяного знаку повинен мати періодичність. Базовий шаблон періодичного водяного знаку генерується за допомогою секретного ключа і повідомлення, наприклад, інформації про авторські права, відбитків пальців тощо, і складається з двовимірної випадкової послідовності розміром $(M/n \times M/n)$, яка слідує гаусівському розподілу з нульовим середнім і одиничною дисперсією. M позначає кінцевий розмір шаблону водяного знаку в кожному напрямку, а n – кількість повторень у кожному напрямку. Щоб LACF працював краще, базовий шаблон перед повторенням фільтрується низькочастотними фільтрами, оскільки низькочастотні компоненти мало піддаються звичайній обробці сигналу, особливо цифро-аналоговому та

аналого-цифровому ЦАП. Відфільтрований базовий шаблон W_b повторюється n разів по вертикальній і горизонтальній осях відповідно, щоб отримати періодичність.

Після того, як отримано періодичний шаблон водяного знаку розміром $M \times M$, шаблон вбудовується за допомогою адитивного методу розширеного спектру з перцептивним масштабуванням. Водяний знак W вбудовується у відеокадр F наступним чином:

$$F_w(x, y) = F(x, y) + \alpha \lambda(x, y) \times W(x, y), \quad (3.2)$$

$$\text{де } W(x, y) = W_b(x \bmod \frac{M}{n}, y \bmod \frac{M}{N})$$

де α – глобальний ваговий коефіцієнт, а $\lambda(x, y)$ – локальний ваговий коефіцієнт пікселя x, y з HVS. Ми використовуємо функцію HVS, оптимізовану для вбудовування в реальному часі, яка використовує вісім операторів компаса як локальну вагову функцію, зберігаючи при цьому функцію зашумленої видимості NVF. Компасні оператори вимірюють градієнти у вибраній кількості напрямків. Круговий зсув восьми границь проти годинникової стрілки дає поворот напрямку градієнта на 45 градусів. Наша функція HVS визначається наступним чином:

$$\begin{array}{cccc} \left[\begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} 0 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{array} \right] \\ \text{N} & \text{NW} & \text{W} & \text{SW} \\ \left[\begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{array} \right] \\ \text{S} & \text{SE} & \text{E} & \text{NE} \end{array}$$

Рисунок 3.3 – Оператори повороту

$$HVS(x, y) = \frac{1}{8} \sum_F \frac{1}{9} \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 |F(i, j) \times F(x + i - 1, y + j - 1)|, \quad (3.3)$$

де $F = \{N, NW, W, SW, S, SE, E, NE\}$ на рисунку 3.3. Оператор поворота може зменшити обчислювальні витрати, використовуючи його властивість відокремлюваності. Відокремлюваний фільтр 3×3 вимагає лише $6 = 3+3$, а не $9 = 3 \times 3$ множень.

Нарешті, локальний ваговий коефіцієнт на $\lambda(x, y)$ отримано за формулою:

$$\lambda(x, y) = S_0 \times [C - HVS(x, y)] + S_1 \times HVS(x, y), \quad (3.4)$$

де C – константа, яка обмежує верхню межу енергій HVS , а S_0 і S_1 – вагові коефіцієнти, що визначаються користувачем для рівнинних і текстурованих областей відповідно. $HVS(x, y)$ має високе значення в текстурованих областях і низьке значення в рівнинних областях. Таким чином, S_0 впливає на міцність у звичайних областях більше, ніж S_1 , тоді як S_1 впливає на міцність вбудовування в текстурованих областях. Комбінуючи видимість водяного знаку зі стійкістю, можна контролювати стійкість водяного знаку, змінюючи значення S_0 і S_1 .

3.3 Виявлення водяних знаків

Виявлення водяного знаку відбувається наступним чином (рисунки 3.4):

- оцінюємо водяний знак за допомогою відбілюючого фільтра;
- знаходимо геометричні спотворення за допомогою LACF на оціненому шаблоні водяного знаку;
- відновлюємо водяний знак із спотворень;
- витягуємо вбудоване повідомлення.

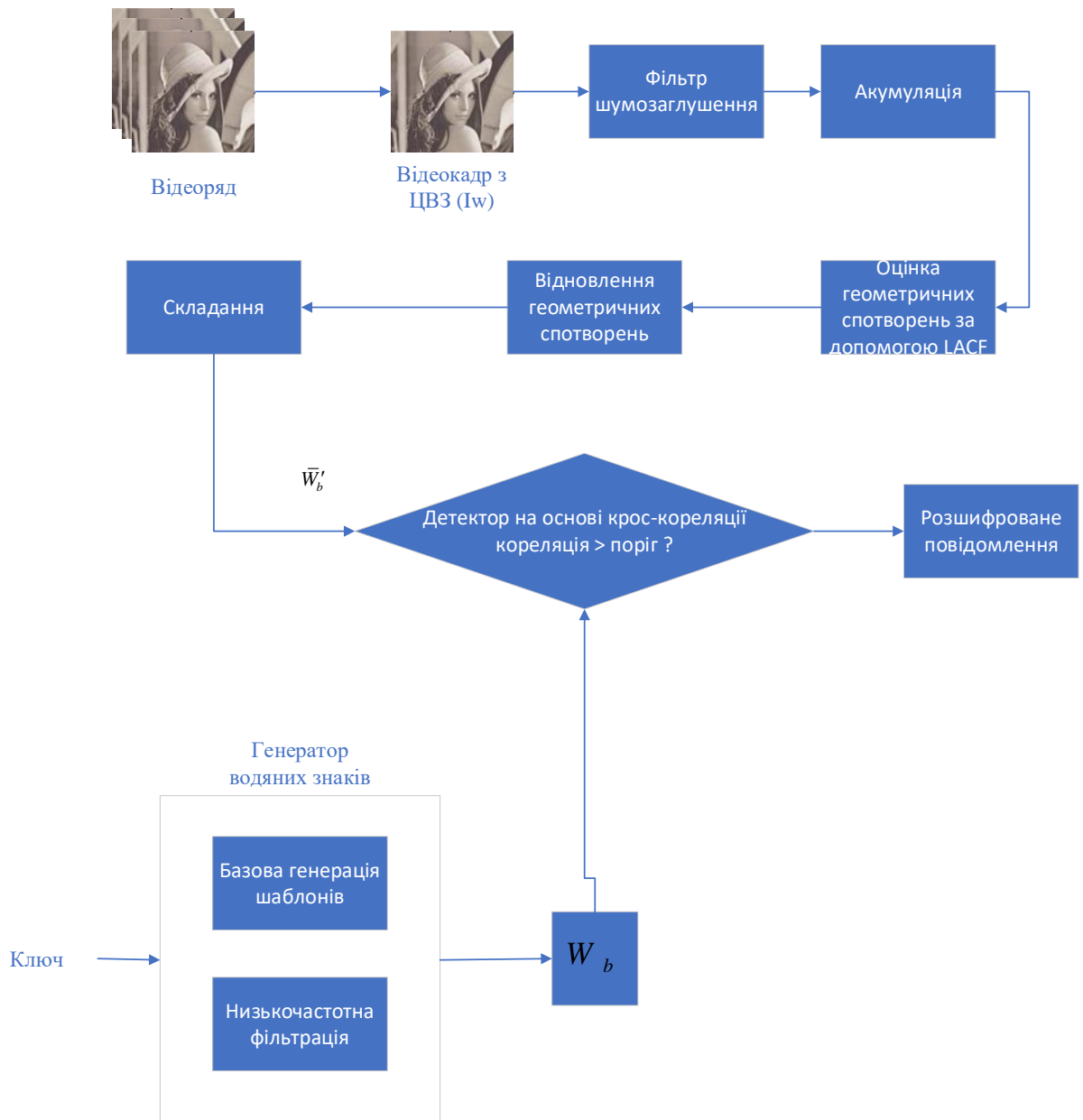


Рисунок 3.4 – Процедура виявлення водяних знаків

Оцінювання водяного знаку та вилучення повідомлення відбувається аналогічно до того, як вони оцінюються та вилучаються у схемах на основі ACF. Оцінювання параметрів проєкції шляхом вилучення піків за допомогою LACF.

Оскільки використовується сліпий детектор, вбудований водяний знак оцінюється за допомогою фільтрації Вінера як фільтра згладжування. Метою використання фільтра згладжування є декореляція відеокадру з водяним

знаком F_w для отримання приблизно спектрально білої версії F_w . Фільтр Вінера оцінює оригінальний сигнал з кадру з водяним знаком:

$$F'(x, y) = \mu(x, y) + \frac{\sigma^2(x, y) - \nu^2}{\sigma^2(x, y)} [F'(x, y) - \mu(x, y)], \quad (3.5)$$

де $\mu()$ та σ^2 – це локальне середнє та локальна дисперсія F_w , відповідно. ν^2 – дисперсія шуму. Середнє з локальних дисперсій вибрано рівним ν^2 , оскільки детектор не має інформації про розподіл ймовірностей шуму. Оцінений водяний знак W' , отриманий за допомогою фільтра Вінера, має вигляд

$$W' = F'_w - F'. \quad (3.6)$$

З метою підвищення енергії оціненого водяного знаку підсумовуємо значення кожного пікселя оціненого водяного знаку в кожному кадрі в серії кадрів протягом t секунд. З цією накопиченою версією W , геометричні спотворення оцінюються за допомогою LACF і відновлюються для синхронізації водяного знаку між вбудовуванням і виявленням. Базовий шаблон розміром $(M/n \times M/n)$ генерується з використанням секретного ключа в якості еталонного водяного знаку. Перед витяганням повідомлення періодичний водяний знак згортається так, щоб його розмір збігався з розміром базового шаблону. Нормалізована крос-кореляція між складеним водяним знаком \bar{W}'_b і еталонним зразком водяного знаку W_b може бути обчислена таким чином, щоб це можна було зробити за менший час за допомогою швидкого перетворення Фур'є FFT за формулою:

$$C = \frac{IFFT[FFT(W'_b) \cdot FFT(W_b)]}{|W'_b| \cdot |W_b|}. \quad (3.7)$$

Якщо нормалізована крос-кореляція C перевищує адаптивний поріг, приховане повідомлення успішно вилучено. Рішення D про перевірку наявності водяного знаку приймається за допомогою формула:

$$D = \max_{x,y} [C(x, y)] > T, \quad (3.8)$$

де T – поріг виявлення, який визначається за формулою

$$T = \mu_c + \alpha_c \sigma_c, \quad (3.9)$$

де μ_c – середнє значення, а σ_c – стандартне відхилення нормованої крос-кореляції. α_c – попередньо визначене значення, яке пов'язане з частотою помилкових спрацьовувань.

Для обчислення параметра в матриці H в рівнянні (3.1) потрібні чотири пари точок на оригінальному та перетвореному зображеннях. Чотири кутові точки оригінального малюнка водяного знаку – це вихідні точки, а чотири кутові точки спотвореного малюнка водяного знаку – відповідні точки. Враховуючи те, що і вбудовувач, і детектор знають розташування чотирьох оригінальних точок, необхідно знати розташування лише чотирьох спотворених точок. Періодичність вбудованого водяного знаку використовується для пошуку цих чотирьох спотворених точок.

Якщо припустити, що відбувається проекція, малюнок водяного знаку розташовується відносно напрямку і ступеня проекції. Коли відбувається горизонтальне проектування, висота основного малюнка на тій самій вертикальній лінії є регулярною, але відрізняється від початкової висоти. Зміна висоти пропорційна ступеню горизонтального проектування. При вертикальному проектуванні ширина базової деталі на тій самій горизонтальній лінії є постійною, але відрізняється від початкової ширини. Зміна ширини пропорційна ступеню вертикального проектування. Уздовж

напрямку, що зберігає періодичність, ступінь проекції оцінюється шляхом порівняння двох вимірних періодів на двох різних лініях.

Обчислюємо АСФ локально на області, вздовж напрямку, який зберігає періодичність, щоб отримати напрямок і періоди. Іншими словами, LACF використовується замість АСФ, який використовує дві паралельні локальні області, віддалені на велику відстань. Як показано на рисунку 3.5, дві горизонтально паралельні локальні області потрібні для вертикальної проекції, а дві вертикально паралельні локальні області потрібні для горизонтальної проекції. Дві паралельні локальні області позначаються R_A і R_B відповідно. Важливо задати розмір кожної області та відстань між R_A і R_B .

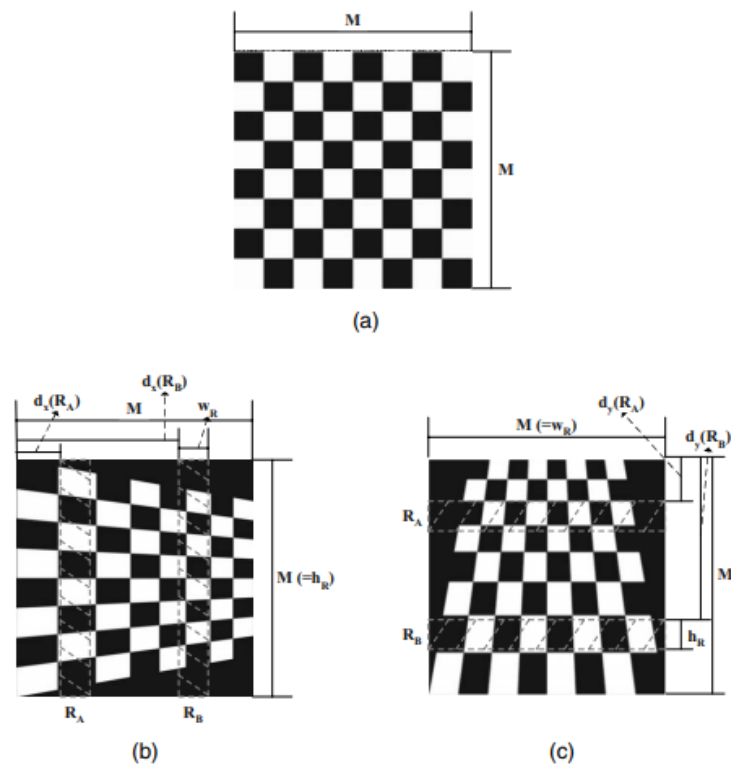


Рисунок 3.5 – Приклади проекційних атак: M позначає розмір періодичного шаблону водяного знаку в кожному напрямку

Для виявлення горизонтальної проекції висота області повинна бути більшою за висоту однієї базової деталі, що гарантує виділення принаймні однієї вершини на горизонтальній осі. Висота області також повинна бути

менше, ніж удвічі більшою за висоту однієї базової деталі, щоб зберегти нормальне співвідношення базової деталі. Ширина області має дорівнювати ширині періодичного шаблону водяного знаку, як показано на рисунку 3.5 б. На відміну від цього, для виявлення вертикальної проекції, область має бути такою ж широкою, як ширина одного основного шаблону, і вужчою, ніж подвоєна ширина одного основного шаблону. Область повинна мати таку ж висоту, як і періодичний візерунок водяного знаку, як показано на рисунку 3.5 с.

Подібно до ACF, LACF обчислюється за допомогою швидкого рівняння на основі ШПФ наступним чином:

$$LACF_R = \frac{IFFT[FFT(R) \cdot FFT(R)^*]}{|R|^2}, \quad (3.10)$$

де оператор * позначає комплексне спряження, а R – локальну паралельну область RA або RB. Якщо водяний знак вбудовано в основний кадр, результат, отриманий за допомогою LACF, має вигляд періодичних піків. Потім геометричні спотворення оцінюються і обертаються за допомогою локального автокореляційного піку (LACP). LACP визначається за результатами LACF шляхом застосування адаптивного порогу наступним чином:

$$LACP > \mu_{LACF} + \alpha_{LACF} \sigma_{LACF},$$

де μ_{LACF} і σ_{LACF} позначають середнє і стандартне відхилення LACF відповідно, α_{LACF} – це величина, яка пов'язана з частотою помилкових спрацьовувань. Задавши максимальну частоту помилкових спрацьовувань, ми обчислюємо LACF і отримуємо поріг спрацьовування. На рисунку 3.6 показано результати застосування LACF до зображення з водяним знаком, яке було піддано обертанню та проекційному спотворенню. LACF витягує

LACP з усіх спотворених зображень. На рисунку 3.6 показано результати застосування LACF до зображення з водяними знаками, яке було піддано обертанню та проєкційному спотворенню. LACF витягує LACP з усіх спотворених зображень. На рисунку 3.6 с, зокрема, два результати LACF показують різні інтервали між кожним піком автокореляції. Використовуючи результати LACF як основу, ми можемо обчислити інтервали та кути для оцінки геометричних спотворень.

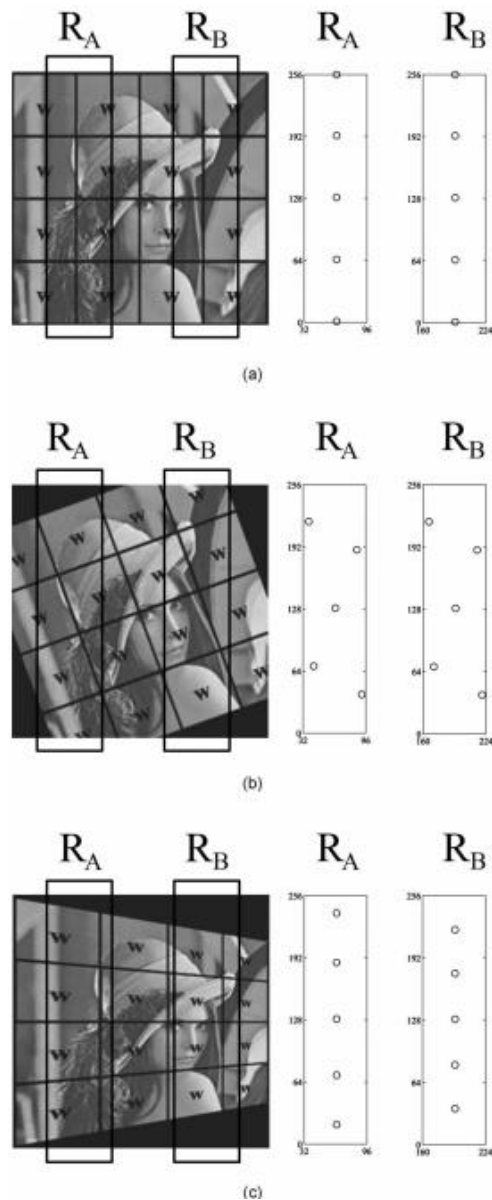


Рисунок 3.6 – Зображення з водяними знаками та виділені піки за допомогою LACF: а без атаки, б поворот на 20 градусів, с горизонтальна проєкція на 20 градусів

Через те, що водяний знак вбудовується лише в частину кадрів, проєкційні спотворення роблять водяний знак не тільки спроектованим, але й трансльованим, рисунок 3.7. Необхідно побудувати математичну модель, яка враховує ці спотворення. У математичній моделі в якості параметрів використовуються інтервали та кути між ЛАСР. Для спрощення припускається, що малюнок водяного знака вбудовується в центр основного кадру, як показано на рисунку 3.8.

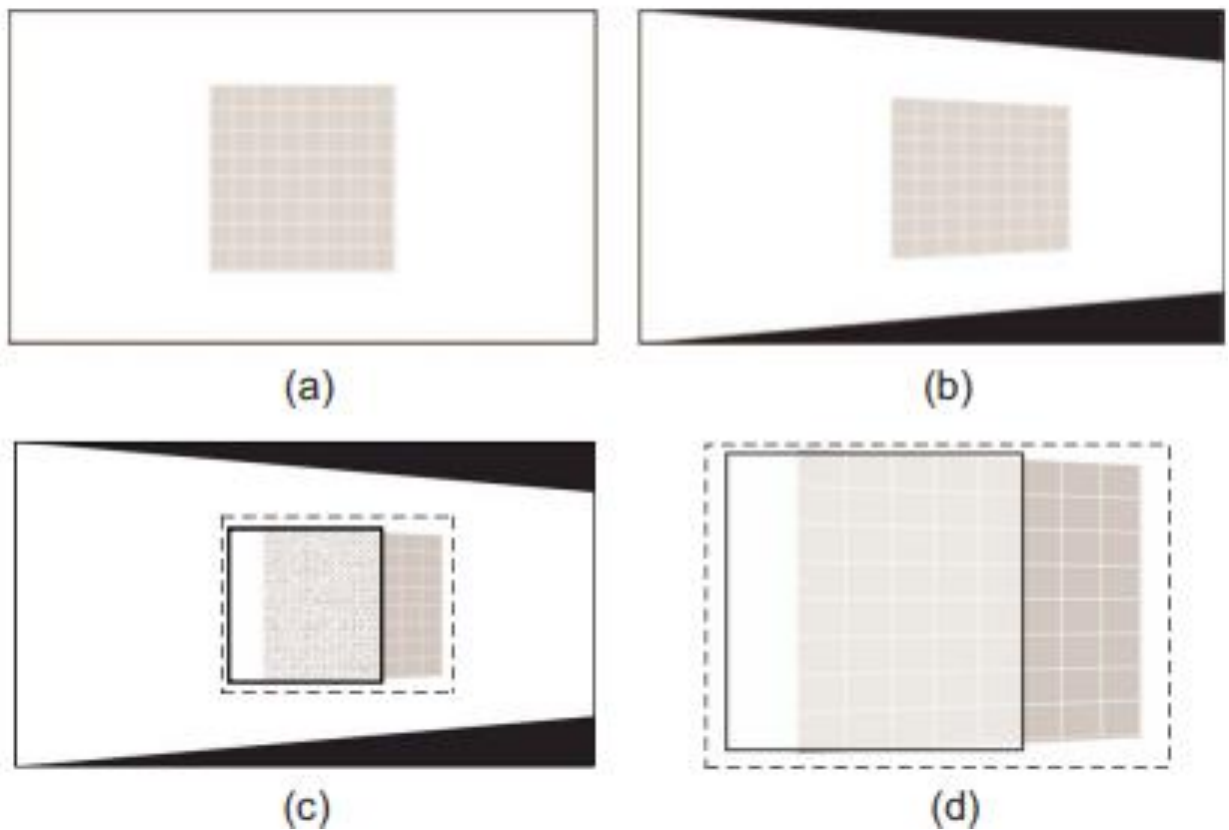


Рисунок 3.7 – Зміна положення водяного знаку внаслідок проєкції:

- а) розташування вихідного водяного знаку; б) розташування водяного знаку після горизонтальної проєкції на 10 градусів; в) порівняння положень водяного знаку до і після проєкції; г) масштабована версія в

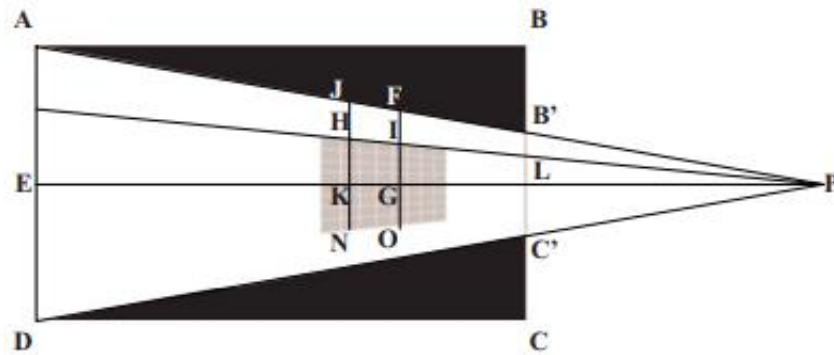


Рисунок 3.8 – Геометрія горизонтально спроектованого зображення

Нарешті, зображення водяного знаку відновлюється з геометричних спотворень за допомогою оберненої матриці H^{-1} . Через те, що матриця H є несингулярною матрицею за визначенням проєкційного перетворення, завжди отримується обернена до неї матриця H .

3.4 Результати експериментальних досліджень

На кліпах цифрового кіно з роздільною здатністю HD, показаних на рисунку 3.9, було виміряно точність і стійкість до різних геометричних спотворень і атаки D-A/A-D перетворення. Схеми на основі LACF і ACF порівнювалися в однакових умовах.



Рисунок 3.8 – Приклади тестових відео

У кожний 5-хвилинний кліп було вбудовано 40-бітове корисне навантаження, щоб відповідати ініціативам цифрового кінематографа DCI. Для підвищення стійкості один і той самий біт водяного знаку вбудовується на 2 с. 2-D базовий шаблон розміром 96x96 розбивається вісім разів $n=8$ по вертикальній і горизонтальній осях відповідно. Таким чином, шаблон водяного знаку формується з розмірами 768x768 і вбудовується в середину кадру. Коефіцієнти S_0 та S_1 у рівнянні 3.4 задано рівними 7.0 та 1.0, відповідно.

Для LACF параметри задаються як для горизонтальної, так і для вертикальної проекції. Для горизонтальної проекції w_R має значення $96 = (M/n)$, а $h_R = 768 = M$. Значення $d_x(A)$ для області R_A дорівнює 144, а $d_x(B)$ для області R_B дорівнює 432. Обидва значення $d_y(A)$ та $d_y(B)$ дорівнюють нулю. Для вертикальної проекції w_R дорівнює 768 $=M$, а h_R дорівнює $96 = M/n$. Значення $d_y(A)$ дорівнює 144, а $d_y(B) = 432$. Обидва $d_x(A)$ та $d_x(B)$ дорівнюють нулю.

Після вбудовування середнє пікове співвідношення сигнал/шум PSNR становило 44,1 дБ для тестових відео. Кліпи проектувалися на широкий екран за допомогою проектора EPSON EMP-TW1000. Розмір відеороликів становив приблизно 2,20 м і 1,24 м у горизонтальному та вертикальному напрямках відповідно. Чотири експерти-спостерігачі брали участь у двоальтернативному експерименті з примусовим вибором, в якому кожне випробування складалося з двох презентацій одного і того ж кліпу, один раз з водяним знаком, а другий раз без нього. Спостерігачі дивилися на екран з двох висот зображення, і їх просили вказати, які кліпи містять водяний знак. Кожен вихідний кліп відтворювався чотири рази в кожному дослідженні. Кожне випробування тривало п'ять хвилин. Жоден спостерігач не зміг точно визначити ідентичність кліпу з водяним знаком у жодному випадку.

Для оцінки продуктивності схеми введено поняття "швидкість вилучення" як міру продуктивності. Далі продуктивність вимірюється за допомогою коефіцієнта вилучення.

Відео, на які були нанесені водяні знаки за допомогою методів LACF і ACF, проєктувалися на екран і знімалися під різними кутами, щоб отримати горизонтально, вертикально і комбіновано спроектовані відео.

Порівняння ефективності двох методів проти проєкційних спотворень показано на рисунку 3.10. На рисунку 3.10 а і 3.10 с показано швидкість вилучення для кожної проєкційної атаки, яка виражена у відсотках від загальної кількості відеокадрів до правильно вилучених кадрів водяного знаку. На рисунках 3.10 б і 3.10 д показано нормалізоване значення крос-кореляції при вилученні водяного знаку. Коли кут проєкції перевищував 40 градусів, більше половини площі вбудованого водяного знаку виводилося за межі початкової позиції вбудовування. Через те, що нас цікавила лише початкова позиція вбудовування, під час виявлення водяного знаку було втрачено водяний знак за межами певного вікна.

У горизонтальній проєкції представлена схема на основі LACF витягувала повідомлення до тих пір, поки кут проєкції не досягав 8 градусів, в той час як схема на основі ACF не змогла витягти повідомлення в жодному випадку, за винятком відсутності атаки. У зв'язку з тим, що співвідношення ширини до висоти відеокадрів відрізняється в залежності від роздільної здатності відеоформату, діапазон кутів, в межах яких схема на основі LACF може витягти повідомлення, також відрізняється в горизонтальній і вертикальній проєкції. У відео з роздільною здатністю HD ширина кадру майже вдвічі перевищує висоту кадру, наприклад, 1920x1080. Отже, при однаковому куті проєкції горизонтальна проєкція спричиняє значно більше спотворень, ніж вертикальна.

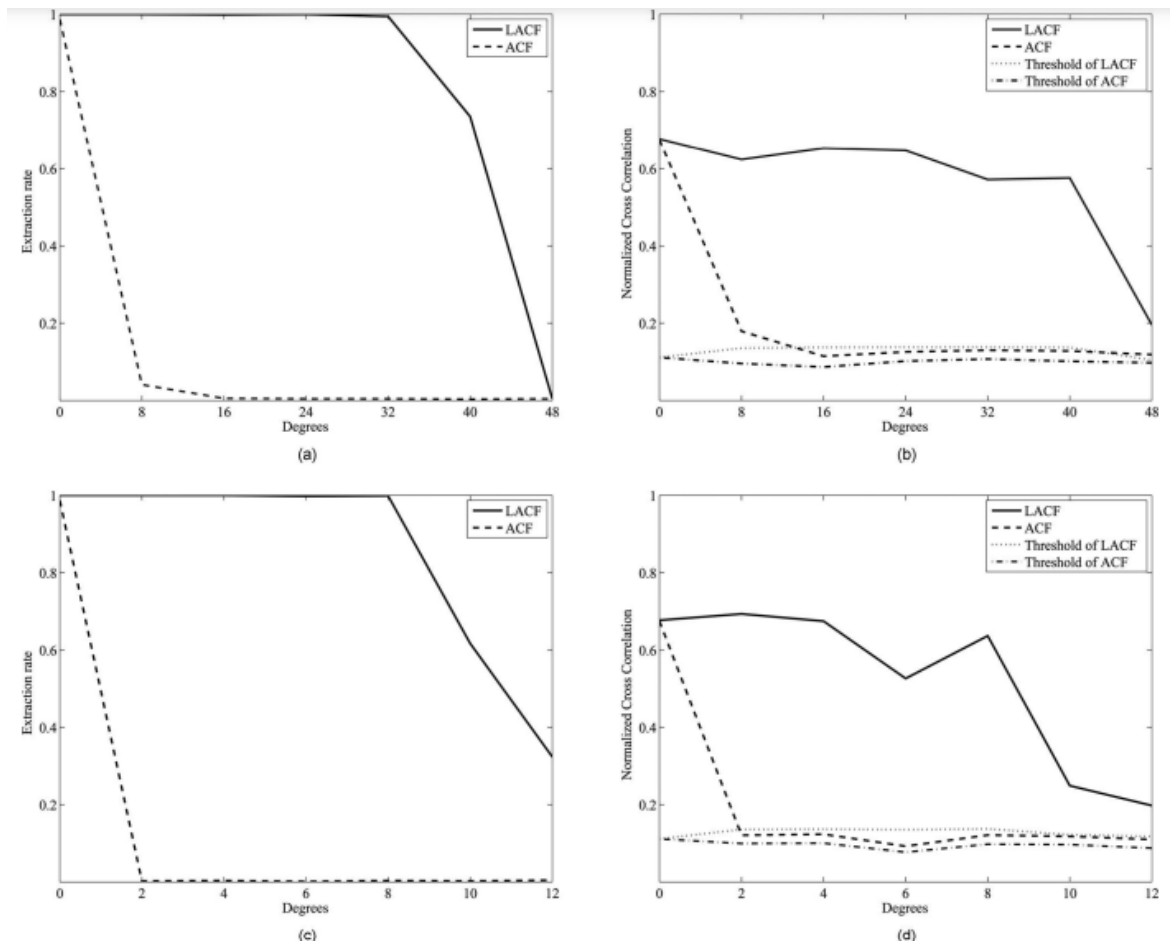











Рисунок 3.10 – Порівняння ефективності схем ACF і LACF щодо проєкційних спотворень: а) вертикальна проєкція; б) вертикальна проєкція; в) горизонтальна проєкція; г) горизонтальна проєкція

На практиці відбувається комбіноване горизонтальне та вертикальне проєктування. Однак, оскільки використовуємо той факт, що зміна довжини ліній, ортогональних до осі проєкції, є регулярною, представлена схема на основі LACF є чутливою до комбінованих проєкційних атак.

У таблиці 3.1 наведено результати роботи схеми на основі LACF проти комбінованої проєкції. Коли комбінована проєкція була незначною, водяний знак було вилучено правильно. Однак, коли кут вертикальної проєкції перевищував 6 градусів або кут горизонтальної проєкції перевищував 8 градусів, схема на основі LACF не спрацьовувала.

Таблиця 3.1 – Знімок, швидкість вилучення та нормована крос-кореляція запропонованої схеми проти комбінованих проекційних атак $fp=10^{-6}$

		Вертикальна проєкція			
		2°	4°	6°	
Г о р и з о н т а л ь н а п р о є к ц і я	2	Знімок			
		Швидкість вилучення	1.00	0.58	0.17
		Кореляція / Поріг	0.42 / 0.13	0.25 / 0.12	0.17 / 0.10
	4	Знімок			
		Швидкість вилучення	0.97	0.58	0.00
		Кореляція / Поріг	0.46 / 0.13	0.25 / 0.12	0.14 / 0.12
	6	Знімок			
		Швидкість вилучення	0.58	0.18	0.00
		Кореляція / Поріг	0.25 / 0.12	0.17 / 0.10	0.10 / 0.08

У таблиці 3.2 наведено результати ефективності двох схем щодо геометричних спотворень, включаючи афінне перетворення. Як показано на рисунку 3.10, схема на основі LACF коректно витягла вбудований 40-бітний корисний файл.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнт вилучення та нормована перехресна кореляція схем ACF і LACF на фоні різних геометричних спотворень

Атаки	Швидкість вилучення		Кореляція/порогове значення	
	ACF	LACF	ACF	LACF
Оригінал 1920x1080	1.00	0.99	0.67/0.11	0.68/0.11
Поворот на 17 градусів	0.98	0.47	0.71/0.13	0.73/0.14

Продовження таблиці 3.2

Масштабування до 480x270	0.28	0.63	0.30/0.14	0.27/0.14
Горизонтальна проекція 8 градусів	0.00	1.00	0.12/0.10	0.64/0.14
Вертикальна проекція 40 градусів	0.00	0.74	0.12/0.10	0.58/0.14

Схема на основі ACF не змогла виділити водяний знак, коли виникло будь-яке проекційне спотворення. У всіх випадках значення кореляції схеми на основі LACF перевищувало поріг 10^{-6} для ймовірності помилкового спрацьовування. Крім того, швидкість вилучення схеми на основі LACF була вищою, ніж у схеми на основі ACF, за винятком повороту. Коли кут повороту перевищував 17 градусів, схема на основі LACF не змогла виділити корисне навантаження, оскільки область LACF не могла покрити спотворені піки. Ми обмежили ширину області LACF до порівняно невеликого розміру, щоб точно відновити проекційні спотворення. Однак, великі спотворення можна відновити, використовуючи більші області LACF перед виділенням піків LACF.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі був розроблений та впроваджений метод синхронізації цифрових водяних знаків у відеофайлах, що базується на використанні автокореляційної функції та локальної автокореляційної функції. Нижче наведені основні висновки, зроблені за результатами дослідження:

- автокореляційна функція виявилася ефективним інструментом для виявлення та синхронізації цифрових водяних знаків у відеофайлах. Вона дозволила точно визначити наявність водяного знака та забезпечити його стійкість до різних видів обробки відео, таких як стиснення, обрізка та зміна формату;

- використання локальної автокореляційної функції дозволило підвищити непомітність водяних знаків для людського ока, зберігаючи при цьому їх стійкість до атак. Локальна автокореляційна функція забезпечила кращу адаптацію водяного знака до локальних особливостей відео, що зменшило візуальні артефакти;

- проведені експерименти показали, що запропонований метод синхронізації водяних знаків є стійким до таких атак, як стиснення, обрізка, зміна розміру та форматування відео. Автокореляційний аналіз допоміг виявити водяні знаки навіть після значної обробки відео.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 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.
2. E. T. Lin, A. M. Eskicioglu, R. L. Lagendijk, and E. J. Delp, "Advances in digital video content protection," *Proceedings of the IEEE: Special Issue on Advances in Video Coding and Delivery*, vol. 93, no. 1, pp. 171–183, Jan. 2005.
3. Aberna, P., and L. Agilandeewari. "Digital image and video watermarking: methodologies, attacks, applications, and future directions." *Multimedia Tools and Applications* 83.2 (2024): 5531-5591.
4. Negi, Abhishek, et al. "Video watermarking techniques for security: An overview." *Automation and Computation* (2023): 318-324.
5. Alsmirat, Mohammad A., et al. "Digital video forensics: A comprehensive survey." *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms* 15.4 (2020): 437-456.
6. Omar, Z. Mohamud, and Jamaluddin Ibrahim. "An overview of Darknet, rise and challenges and its assumptions." *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol* 8 (2020): 110-116.
7. Atanasova, Irina. "DIGITAL RIGHT MANAGEMENT: SAFEGUARDING COPYRIGHT IN THE CYBER ERA." *Annals of Spiru Haret University. Economic Series* 23.4 (2023).
8. Perzanowski, Aaron. "How the Blockchain Undermined Digital Ownership." *Wash. & Lee L. Rev.* 80 (2023): 1137.
9. Srivastava, Prashansa. "Digital Rights Management: The New Copyrights." (2022).
10. Longshak, Joseph E., et al. "Intellectual Property Rights (IPR) in the Blockchain Era." *Global Perspectives on Sustainable Library Practices*. IGI Global, 2023. 263-296.

11. D. K. Mulligan, J. Han, and A. J. Burstein, "How DRM-based content delivery systems disrupt expectations of "personal use"," Proceedings of the ACM workshop on Digital Rights Management, Washington D.C., 2003, pp. 77–89.

12. D. Clark, "How copyright became controversial," *Proceedings of the 12th Annual Conference on Computers, Freedom and Privacy*, San Francisco, CA, 2002.

13. Favorskaya, Margarita N., and Vladimir V. Buryachenko. "Authentication and copyright protection of videos under transmitting specifications." *Computer Vision in Advanced Control Systems-5: Advanced Decisions in Technical and Medical Applications* (2020): 119-160.

14. Eri, Moch Roseno. "VCD And DVD Copyright Protection in Pekanbaru According to Law Number 28 Of 2014 on Copyrights." 1st UMGESHIC International Seminar on Health, Social Science and Humanities (UMGESHIC-ISHSSH 2020). Atlantis Press, 2021.

15. 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