

**МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ КЛОНУВАННЯ КАДРІВ У
ВІДЕОПОСЛІДОВНОСТЯХ**

О.В. Іларіонова, О.Ю. Лебедєва

Національний університет «Одеська політехніка»
1 Шевченка пр., Одеса, 65044, Україна
e-mails: o.y.lebedieva@op.edu.ua ilarionova.olga.l@gmail.com

В роботі розроблено модифікацію алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовностях. Життя сучасної людини неможливо уявити без постійної присутності у ньому цифрових технологій. Вони стали невід'ємною частиною нашого побуту. У кожного є смартфон, майже кожен володіє персональним комп'ютером або ноутбуком. Технології фото- та відеозйомки, а також розповсюдження та оприлюднення знімків і відео, такі, як соцмережі, зробилися невід'ємною частиною цифровізації. Цифровізація поширилась і на дуже важливі для життя людства сфери, такі як криміналістика або засоби масової інформації. Для того, щоб мати довіру до відеоматеріалів, яка надзвичайно важлива у кримінальних розслідуваннях, судових справах та інформаційних мережах, потрібно розвивати сферу викриття модифікацій та фальсифікацій у відео- та фотоматеріалах, розробляти нові методи, що дозволяють впевнитися в цілісності відео або виявити фальсифікацію, та модифікувати і вдосконалювати вже розроблені. В роботі виконано аналіз методів для знаходження фальсифікацій у відеопослідовностях та сучасних форматів і алгоритмів для збереження і стискання відеопослідовностей. У результаті аналізу було виявлено поточний стан розвитку сфери виявлення підробок відео та визначено найпопулярніші відеоформати. Було проведено експерименти з відео різних форматів та роздільних здатностей, зібрано та проаналізовано дані, після чого встановлені необхідні порогові значення коефіцієнта кореляції Пірсона для кожного досліджуваного формату. В роботі було запропоновано порогові значення для пошуку клонованих кадрів. Порогове значення обирається в залежності від формату та роздільної здатності відео. Для модифікації алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовності шляхом аналізу порогових значень коефіцієнту кореляції Пірсона бралися такі параметри, як формат відео та роздільна здатність. Була створена програмна реалізація модифікації алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовностях. В роботі наводяться помилки першого та другого роду.

Ключові слова: цифрове відео, клонування кадрів, коефіцієнт кореляції, виявлення клонування кадрів.

Вступ. Життя сучасної людини неможливо уявити без постійної присутності у ньому цифрових технологій. Вони стали невід'ємною частиною нашого побуту. Технології фото- та відеозйомки, а також розповсюдження та оприлюднення знімків і відео, такі, як соцмережі, зробилися невід'ємною частиною цифровізації. Сучасна людина стикається з відео та фото всюди: гортає стрічку в Тік-Ток або Instagram у вільний від роботи час, дивиться рекламу або вірусні ролики, має у своєму телефоні безліч варіантів фото- та відеоспогадів про себе, членів сім'ї та своїх домашніх тварин.

Техніка та програми, що можуть обробляти фото та відео, також останнім часом зазнали великого розвитку. Для того, щоб ними користуватися, не потрібна спеціальна освіта, достатньо мати мінімальне обладнання та доступ в Інтернет.

Не тільки звичайні користувачі, а й злочинці тепер мають широкий інструменти для модифікації та фальсифікації фото та відео, що ускладнює задачу визначення правдивої інформації у купі інформаційного шуму. Багато людей

звикли гортати стрічку, швидко сприймати короткі відео, і не перевіряти інформацію прискіпливо. Отже, для обману тепер треба тільки щоб трохи пощастило, і відео побачила необхідна кількість людей. За допомогою такого прийому можна поширити фейк, згубити репутацію громадського чи політичного діяча тощо.

Отже, для того, щоб мати довіру до відеоматеріалів, яка надзвичайно важлива у кримінальних розслідуваннях, судових справах та інформаційних мережах, потрібно розвивати сферу викриття модифікацій та фальсифікацій у відео- та фотоматеріалах, розробляти нові методи, що дозволяють впевнитися в цілісності відео або виявити фальсифікацію, та модифікувати і вдосконалювати вже розроблені, тому робота є актуальною.

Мета та задачі роботи. Метою даної роботи є підвищення ефективності алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовностях шляхом модифікації за допомогою аналізу порогових значень.

В процесі досягнення мети виконуються наступні задачі:

- аналіз відеопослідовностей для отримання порогових значень для коефіцієнта кореляції;
- розробити модифікацію алгоритму виявлення фальсифікації у відеопослідовності;
- програмно реалізувати розроблену модифікацію алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовностях;
- оцінити ефективність розробленої модифікації алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовностях.

Під порушенням цілісності (фальсифікацією) цифрового відео у роботі розуміється застосування до відеопослідовності клонування кадрів, що проводиться засобами графічних редакторів відеопослідовностей.

Ефективність виявлення клонування кадрів оцінюємо кількістю помилок першого і другого роду.

Основна частина. Виявлення фальсифікації відео – це підкатегорія відеокриміналістики, яка досліджує відео щодо змін контенту і може визначити просторові або часові місця підробки. Підходи виявлення фальсифікації відео можуть бути як активними, так і пасивними в залежності від наявності апріорної інформації про відео.

Активні методи, такі як цифровий підпис та водяні знаки, вимагають попередньо вбудованої інформації досліджуваного файлу для перевірки його легітимності. Більшість пристроїв відеозахоплення, які представлені на ринку, не підтримують цю функцію. Крім того, це залежить від розсуду користувача, вбудовувати цю інформацію чи ні.

Пасивні чи приховані методи виявлення несанкціонованого доступу до відео не вимагають попередньої інформації для класифікації відео як підробленого чи ні. Ці методи є більш надійними у реальних сценаріях, оскільки вони працюють, використовуючи сліди або артефакти несанкціонованого доступу. В нашій роботі ми будемо використовувати саме пасивні методи виявлення фальсифікації відео.

Відео можна розглядати як послідовність зображень, які називаються кадрами, що відображаються протягом певного періоду часу. Таким чином, методи виявлення несанкціонованого доступу можуть застосовуватись лише на рівні кадру.

Під атакою на відеопослідовність будемо розуміти порушення цілісності цього відео. Порушення цілісності або фальсифікацію відео можна розділити на 3 категорії [1]:

- атаки просторового втручання, тобто внутрішньокадрові;
- атаки часового втручання, тобто міжкадрові;

– атаки просторово-часового втручання.

Фальсифікації можуть відбуватися на рівнях кадру, блоку, пікселю або сцени [2].

При внутрішньокадровій атаці змінюється вихідний зміст певних кадрів. Є декілька видів популярних операцій при внутрішньокадровій атаці:

- додавання певних областей та об'єктів з цього відео у кадрі;
- додавання певних областей та об'єктів з різних відео у кадрі;
- видалення деякого об'єкту з кадру;
- спотворення зображення за допомогою використання геометричних перетворень.

Атаки часового втручання, тобто міжкадрові підробки, відрізняються тим, що кадр піддається процесу фальсифікації повністю, а не частково. Можна виділити декілька типів міжкадрових фальсифікацій:

- видалення кадру з відео;
- вставку кадрів з інших відео;
- дублювання кадрів з поточного відео;
- перетасовку кадрів.

Видалення кадрів пов'язане з видаленням подій у відео шляхом видалення відповідних кадрів. При вставці кадрів кадри, скопійовані з одного відео, вставляються до іншого. Дублювання кадрів (або реплікація) включає копіювання кадрів у відео і вставку їх в інші тимчасові місця того ж відео. Перетасовування кадрів – це ще одна форма дублювання кадрів, коли скопійовані кадри переупорядковуються в часі перед вставкою. Вставка кадрів, дублювання кадрів та перетасовування кадрів можуть бути використані для заповнення пробілу у видалених кадрах у відео. В нашій роботі працюємо з дублюванням кадрів того ж відео.

Наразі цифрове відео, відзняте на сучасну камеру, само по собі багато важить. Для того, щоб оптимізувати розподіл доступного простору для збереження інформації і зменшити розмір відео, використовуються відеокодеки, які реалізують конкретні алгоритми стиснення для відео. Двома ключовими методами стиснення, які використовуються, є дискретне косинусне перетворення (DCT) та алгоритм компенсації руху (Motion Compensation).

Стиснення буває внутрішньокадрове та міжкадрове. Внутрішньокадрове кодування – це техніка стиснення даних, яка використовується у відеокадрі, що дозволяє зменшити розміри файлів і знизити бітрейт із незначною втратою якості або без неї. Внутрішньокадрове прогнозування використовує просторову надмірність, тобто кореляцію між пікселями в одному кадрі, шляхом обчислення прогнозованих значень за допомогою екстраполяції з уже закодованих пікселів. При міжкадровому кодуванні розмір відеофайлу зменшується за рахунок кодування лише відмінностей між двома послідовними кадрами замість стиснення кожного кадру, тобто зберігаються лише зміни між двома послідовними кадрами, що призводить до значно менших розмірів файлів. Сучасні та найпоширеніші формати збереження відеопослідовностей це: AVI, MKV, MPEG-4, WMV, WebM. В роботі були використані 5 форматів відеофайлів: AVI, MKV, MP4, WebM та WMV. Для пошуку дубльованих кадрів у відеопослідовностях можуть бути використовувати метрики відстані. В якості метрики відстані в роботі використовується коефіцієнт кореляції Пірсона.

Коефіцієнт кореляції Пірсона використовується для виявлення взаємозв'язку між двома змінними, визначає, чи пропорційна їх мінливість, коли при зміні одного показника змінюється і другий. Кореляція Пірсона є лінійною. У математичній статистиці значення коефіцієнта кореляції Пірсона може бути від +1 до -1, де +1 свідчить про наявність повного позитивного лінійного зв'язку, а -1 —

про наявність повного негативного лінійного зв'язку. Для двох однакових зображень значення коефіцієнта кореляції Пірсона дорівнює 1.

Було проведено ряд експериментів, в яких відзняті оригінальні відео, кожне з яких розбивалось на кадри та виконувалось дублювання одного з кадрів на інше місце у відео. Фальсифіковане таким чином відео зберігалось в форматах зі втратами аві, mkv, mp4, WebM та wmv. Використовувалось відео з різною роздільною здатністю.

В попередній роботі було розроблено алгоритм виявлення клонування кадрів у відеопослідовностях, який ефективно працював з відеопослідовностями, які були збережені в форматах без втрат після фальсифікації. В даній роботі використовувалися відео збережені в форматах зі втратами, тому основним завданням експериментів було знайти порогові значення для коефіцієнта кореляції Пірсона для визначення дубльованих кадрів. Для цього у кожному відео знаходились значення коефіцієнта кореляції Пірсона між всіма кадрами відео. З даних було сформовано таблиці, де номери строк та рядків відповідають номерам кадрів у відео, а жовтим кольором замальовані значення коефіцієнта кореляції відповідні кадрам, які були клоновані. Для кожного формату та кожної роздільної здатності було зроблено окрему таблицю. В таблицях були проаналізовані значення коефіцієнту кореляції для дубльованих кадрів.

Рис. 1. Приклад значень коефіцієнту кореляції у відеопослідовності

В таблиці 1 представлено знайдені порогові значення коефіцієнту кореляції Пірсона для кожного формату.

Таблиця 1

Порогові значення для коефіцієнту кореляції Пірсона		
Формат відео	Роздільна здатність відео	Порогове значення
AVI	640x360	0,99995
	856x480	0,99993
	720x1280	0,99994
MKV	640x360	0,99998
	856x480	0,99997
	720x1280	0,99995
MP4	640x360	0,99998
	856x480	0,99997
	720x1280	0,99997
WebM	640x360	0,99995
	856x480	0,99995
	720x1280	0,99992
WMV	640x360	0,99999
	856x480	0,99998
	720x1280	0,99993

Будемо вважати, що маємо відеопослідовність з кадрів $P = \{p_1, p_2, \dots, p_s\}$ розміру $M \times N$, де s – кількість кадрів. Кожний кадр зберігається в форматі RGB. Для роботи алгоритму необхідно перетворити RGB в YUV і використовувати в обчисленнях тільки матрицю Y. Модифікований алгоритм виявлення клонування кадрів у відеопослідовності складається з наступних основних кроків:

Крок 1. Зчитується відео V , формат відео F та його роздільна здатність R .

Крок 2. Зчитується послідовність кадрів $P = \{p_1, p_2, \dots, p_s\}$ із відео V розміру $M \times N$.

Крок 3. Зчитується p_i кадр, $i = 1, \dots, s$. Маємо матрицю Y^i . Для кожного кадру p_i виконуємо наступні кроки:

Крок 3.1 Зчитується p_j кадр, $j = 1, \dots, s, i \neq j$. Отримуємо матрицю Y^j . Для кожної пари кадрів p_i та p_j для матриць Y^i та Y^j вирахувати метрику подібності блоків коефіцієнт кореляції Пірсона $metric_{ij}$.

Крок 3.2. В залежності від F та R встановлюється порогове значення δ_{FR} .

Крок 3.3 Якщо $metric_{ij} \geq \delta_{FR}$, то кадри p_i та p_j є оригінальним та клонованим, запам'ятовуються їх номери, $res = res \cup \{i, j\}$. Інакше розглянути наступну пару кадрів.

Крок 4. Вивести знайдені номери кадрів res . Зберегти відео, що перевірялось з поміченим надписом «КЛОН» в дубльованих кадрах.

Розроблено програмний додаток, який реалізує модифікацію алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовності. Результати роботи програми продемонстровано на рис. 1.

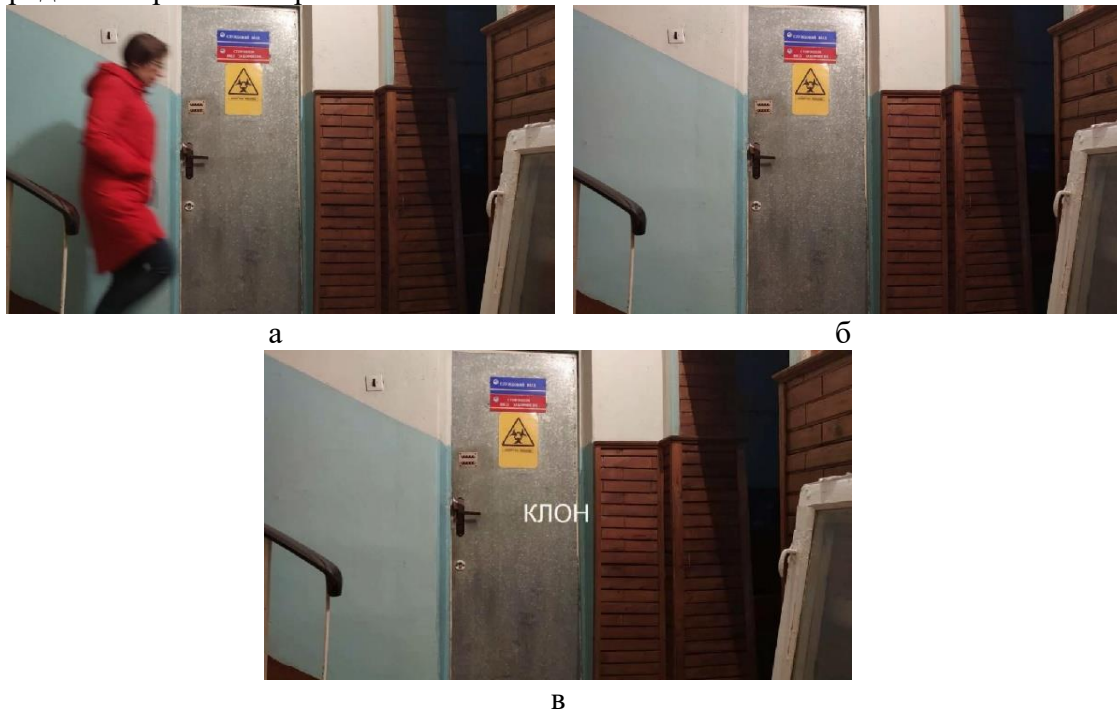


Рис. 2. Результати роботи модифікації алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовності: 36 кадр оригінального відео (а); 36 кадр фальсифікованого відео (б); результат роботи програми для 36 кадру (в)

При дослідженні помилкою першого роду будемо вважати клоновані кадри, які не було знайдено. Помилкою другого роду будемо вважати оригінальні кадри, які були розпізнані як клоновані. В таблиці 2 продемонстровано помилки першого та другого роду для кожного формату.

Помилки першого та другого роду

Формат	Роздільна здатність	Помилки першого роду, %	Помилки другого роду, %
AVI	640x360	4,33	7,03
	856x480	3,09	6,03
	720x1280	3,77	2,76
MKV	640x360	1,71	7,36
	856x480	1,96	4,69
	720x1280	0,99	2,26
MP4	640x360	1,97	7,36
	856x480	1,18	4,69
	720x1280	2,36	0,92
WebM	640x360	1,31	1,92
	856x480	3,54	0,84
	720x1280	2,36	2,59
WMV	640x360	1,71	1,09
	856x480	2,23	2,01
	720x1280	0,52	4,27

Таким чином, розроблена модифікація алгоритму виявлення клонування кадрів у відеопослідовності працює добре з визначеними пороговими значеннями при різних роздільних здатностях, у відео з різним видом освітлення та з рухомих чи нерухомих тлом.

Список літератури

1. Patel J., Sheth R. Passive video forgery detection techniques to detect copy move tampering through feature comparison and RANSAC. *Cyber security and digital forensics*. Singapore: Springer, 2022. P.161–177.
2. Amjed A., Mahmood B., Almkhtar K.A. Approaches for forgery detection of documents in digital forensics: A review. *International conference on emerging technology trends in internet of things and computing*. Cham: Springer, 2022. P. 335–351.
3. Sitara K., Mehtre B.M. Detection of inter-frame forgeries in digital videos. *Forensic Science International*. 2018. V.289. P. 186-206.

MODIFICATION OF THE ALGORITHM FOR DETECTION OF FRAME CLONING IN VIDEO SEQUENCES

O. Ilarionova, O. Lebedieva

National Odesa Polytechnic University
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine
e-mails: o.y.lebedieva@op.edu.ua ilarionova.olga.l@gmail.com

The work developed a modification of the algorithm for detecting cloning of frames in video sequences. It is impossible to imagine the life of a modern person without the constant presence of digital technologies in it. They have become an integral part of our daily life. Everyone has a smartphone, almost everyone owns a personal computer or laptop. Photo and video recording technologies, as well as the distribution and publication of images and videos, such as social networks, have become an integral part of digitalization. Digitization has also spread to very important areas for human life, such as forensics or mass media. In order to have confidence in video materials, which is extremely important in criminal investigations, court cases and information networks, it is necessary to develop the field of exposing modifications and falsifications in video and photo materials, develop new methods that allow you to verify the integrity of the video or detect falsification, and modify and improve already developed ones. The paper analyzes the methods for finding falsifications in video sequences and modern formats and algorithms for saving and compressing video sequences. As a result of the analysis, the current state of development in the field of detection of fake videos was revealed and the most popular video formats were determined. Experiments were conducted with videos of different formats and resolutions, data were collected and analyzed, after which the necessary threshold values of the Pearson correlation coefficient were established for each format studied. Threshold values for searching for cloned frames were proposed in the work. The threshold value is chosen depending on the format and resolution of the video. Parameters such as video format and resolution were taken to modify the algorithm for detecting cloning of frames in a video sequence by analyzing the threshold values of the Pearson correlation coefficient. A software implementation of the modification of the algorithm for detecting cloning of frames in video sequences was created. Errors of the first and second kind are cited in the work.

Keywords: digital video, frame cloning, correlation coefficient, frame cloning detection.