

doi: 10.32620/oikit.2024.102.08

УДК 004.932

Л. О. Краснов, Д. О. Щербаков, В. Г. Джулгаков

Оцінка якості нового алгоритму стиснення даних у сучасних системах відеоспостереження на борту БПЛА

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.*

Предмет вивчення. Запропоновано новий алгоритм стиснення даних у реальному масштабі часу в системі відеоспостереження з борту безпілотного літального апарата. Алгоритм дає змогу отримати різний ступінь стиснення відеоданих за допомогою різних кодеків для конкретних умов відеозйомки (висоти та швидкості польоту БПЛА, характеру спостережуваної місцевості тощо), а також забезпечує можливість швидкісного передавання відеоданих до пункту керування польотом по радіоканалу. Проведено детальний аналіз якості роботи запропонованого алгоритму для зйомки в різних форматах відео, що відповідають міжнародним стандартам (HD і Full HD), як за показниками візуального сприйняття, так і за об'єктивними критеріями. Метою роботи було проведення комплексного дослідження з проблеми підвищення якості роботи системи відеоспостереження з борту БПЛА і створення алгоритму стиснення відео, що дає змогу транслювати радіоканалом відеодані в пункт управління в реальному часі з високою якістю. Завдання. Розробити та програмно реалізувати алгоритм стиснення відеоданих на базі сучасних кодеків для систем відеоспостереження з борту БПЛА. Як апаратні засоби використовувати сучасні відеокамери та мікрокомп'ютерну платформу. Провести аналіз показників якості роботи алгоритму в різних умовах. Використовувати методи. Оцінка візуального сприйняття результатів стиснення відео, статистичний аналіз і обробка параметрів аналізованої відеопослідовності як випадкового просторово-часового процесу. Отримані результати. Синтезовано новий алгоритм стиснення відеоданих для системи відеоспостереження БПЛА на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 5, що використовує сучасні кодеки стиснення відео H.264 і H.265. Алгоритм забезпечує необхідний ступінь стиснення і швидкість передавання даних радіоканалом борт БПЛА – пункт керування польотом. Отримано докладні оцінки якості роботи алгоритму. Висновки. Наукова новизна отриманих результатів: Запропоновано та реалізовано новий універсальний алгоритм стиснення відеоданих для систем відеоспостереження на борту БПЛА з можливістю передавання відео радіоканалом у реальному масштабі часу. Якість запропонованого алгоритму верифіковано на реальних результатах відеоспостереження. Запропонований алгоритм реалізовано в програмному середовищі Python.

Ключові слова: Формат відеоспостереження, ступінь стиснення відео; кодеки стиснення відео, бітрейт (швидкість передавання даних), алгоритм стиснення відео в реальному часі.

Вступ

Розв'язання численних завдань розпізнавання образів зазвичай проводиться сучасними засобами комп'ютерного зору. Останнім часом намітилася стійка тенденція до помітного посилення в цьому процесі ролі різноманітних систем відеоспостереження. Останнє зумовлено не тільки значним прогресом у створенні ефективного програмного забезпечення на базі нейромережових технологій і появою сучасних мікрокомп'ютерних платформ, а й постійно зростаючою доступністю недорогих, але якісних мініатюрних відеореєстраторів. Використання цих ресурсів особливо актуальне при створенні сучасних мобільних додатків. Яскравим прикладом цього є завдання обробки даних бортових відеореєстраторів безпілотних літальних апаратів (далі БПЛА). Зазначимо, що потреби використання відеоданих з борту БПЛА зростають у геометричній прогресії як у

гуманітарній, так і у військовій сферах. При цьому неухильно зростають і вимоги до якості відеоданих.

Слід підкреслити, що проблема підвищення якості бортових систем відеоспостереження має комплексний характер – необхідно забезпечити реєстрацію відеоданих із високою роздільною здатністю в суворій відповідності з вимогами чинних міжнародних стандартів, бортовий комп'ютер має гарантувати введення даних у реальному масштабі часу, мати необхідні ресурси за об'ємом пам'яті та швидкодією. Крім цього, необхідно організувати попереднє опрацювання відео на борту БПЛА і передачу відеоданих на наземний командний пункт спостереження за допомогою сучасного стандартного модему. Необхідно також гарантувати ефективне використання пропускної здатності радіоканалу борт БПЛА – наземний командний пункт. Зазначимо, що виконання цього комплексу досить суперечливих умов практично неможливе без ефективного стиснення відеоданих через величезний обсяг інформації. Однак слід пам'ятати, що значне стиснення даних навіть за допомогою сучасних кодеків призводить до часткової втрати якості відео. Тому необхідно розробити та використовувати об'єктивну методику врахування втрат якості під час визначення ступеня стиснення відео.

Відзначимо численні спроби багатьох дослідників розв'язати проблеми підвищення якості відео, отриманого на борту БПЛА. Результати цих досліджень розглянемо далі. На жаль, комплексного вирішення цих завдань на сьогодні немає. Тому подальші дослідження актуальні й безумовно корисні.

1. Мета роботи

Планувалося провести комплексні дослідження з проблеми підвищення якості даних систем відеоспостереження на борту БПЛА. При цьому ставилися такі завдання:

- провести огляд і порівняльний аналіз результатів відомих робіт щодо поліпшення якості даних у системах відеоспостереження БПЛА;
- розробити методику, що дає змогу дати об'єктивну оцінку якості відеоданих за різних варіантів їхнього стиснення;
- запропонувати ефективний алгоритм стиснення даних відео, який працює в реальному масштабі часу з використанням сучасних кодеків;
- дослідити ефективність роботи алгоритма стиснення й оцінити його відповідність вимогам міжнародних стандартів і критеріям оцінки якості;
- обґрунтувати варіант вибору бортового мікрокомп'ютера і створити програмний додаток з використанням сучасної мови програмування для ефективної реалізації проекту.
- достовірність отриманих результатів перевірити і підтвердити на тестових відеозаписах і в умовах реальної роботи системи відеоспостереження на борту БПЛА.

2. Аналіз необхідних робіт

На попередньому етапі проектування було проведено детальний аналіз стандартів і вимог, що висуваються міжнародними організаціями до роботи бортових систем відеоспостереження БПЛА. Основна увага приділялася дотриманню вимог до форматів відеозображень і до каналів їхнього передавання, які найповніше сформульовано в стандартах НАТО й опубліковано в нормативних

документах [1 - 4].

Ключовим документом для країн альянсу в забезпеченні сумісності БПЛА і наземних пунктів управління (Ground Control Station) став стандарт STANAG 4586. Він ухвалений уже в другій редакції і формулює вимоги до форматів даних і до протоколів обміну, визначаючи один із п'яти можливих рівнів сумісності літального апарата і пункту управління. Величезний позитивний ефект від упровадження цього стандарту – відсутність необхідності розробляти окремі пункти управління для кожного типу БПЛА.

Основні вимоги щодо швидкості передавання даних від бортових сенсорів БПЛА сформульовано в стандарті НАТО STANAG 4609 Edition 2 і в другій редакції «Керівництва з реалізації» цього стандарту AEDP-8 [4]. Мета стандарту - підвищення здатності до взаємодії між системами контролю і управління (СЗІ) НАТО в питаннях обміну цифровими мультимедійними зображеннями (телевізійними, радіолокаційними тощо), зокрема такими, що формуються на борту БПЛА. При цьому було припинено розвиток аналогових засобів передачі даних. Проблеми стандартизації основних параметрів бортових систем відеоспостереження активно обговорювалися на міжнародних конференціях з комунікаційних технологій [5, 6].

Автори провели ґрунтовний патентний пошук наявних технічних рішень за цією проблемою. Розглянемо деякі з них. Знайдено патент [7] на "Систему і метод обробки зображення з безпілотних літальних апаратів", що описує систему для налаштування параметрів відео з метою покращення якості та забезпечення стиснення відеопотоку з БПЛА у режимі реального часу. Цей патент охоплює алгоритми налаштування кольору, яскравості та інші параметри, що дозволяють зменшити обсяг даних без значної втрати якості. Однак такому рішенню притаманні суттєві недоліки, такі як складність алгоритмів та необхідність потужних апаратних засобів для обробки, що робить його непридатним для використання на платформах з обмеженими ресурсами, таких як наприклад Raspberry Pi.

Інший патент [8] описує "Систему відеокомпресії для реального часу", яка дозволяє стискати відеопотік з БПЛА з використанням алгоритмів H.264 та H.265. Цей патент передбачає використання міжкадрової компресії для зменшення обсягу відео, а також адаптивні методи налаштування ступеня стиснення залежно від якості зв'язку. Це рішення дозволяє забезпечити високу ефективність стиснення, але також вимагає підтримки апаратного прискорення, яке не завжди доступне на малопотужних пристроях.

Найбільш близьким за технічною суттю та кінцевим результатом є патент [9]. Він описує "Метод реального часу стиснення відео для БПЛА". Він включає алгоритми адаптивного налаштування ступеня стиснення залежно від умов зйомки, таких як освітленість, частота кадрів та доступна пропускна здатність каналу зв'язку. Цей патент охоплює використання сучасних методів компресії та обробки відео, що дозволяє ефективно зберігати якість при зменшенні обсягу даних, однак для повноцінного використання необхідні розширені обчислювальні ресурси.

Безумовно, найважливішим питанням при формуванні структури проекту був вибір мікрокомп'ютерної платформи для створення системи відеоспостереження на борту БПЛА. Бортовий комп'ютер повинен володіти не тільки високою швидкістю і необхідними ресурсами пам'яті, а й забезпечити апаратну підтримку стиснення відео за допомогою сучасних кодеків. Остання

модель мікрокомп'ютера Raspberry Pi (model 5) докладно задокументована в [14], володіє всіма цими ресурсами і обрана в якості базової моделі. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi оснащений відеопроцесором (VideoCore VII), що забезпечує апаратне стиснення відео за допомогою кодаків H.264 та H.265/

Другим найважливішим питанням є вибір мови програмування і бібліотек для реалізації алгоритмів необхідного стиснення відеоданих у реальному масштабі часу і можливістю їх передавання по радіоканалу із заданою швидкістю. Ці ресурси докладно описані в [15, 16]. Програмна реалізація проекту виконана мовою програмування Python з використанням бібліотек OpenCV, GStreamer та FFmpeg для захоплення, стиснення та оцінки якості відео на мікрокомп'ютері Raspberry Pi. Кожен із цих інструментів виконує свою роль, оптимізуючи використання обмежених ресурсів.

Актуальним є й питання використання сучасних кодеків стиснення відео. Для реалізації проекту використано кодеки H.264 та H.265. Їхні можливості досить повно описані в [18]. Алгоритм забезпечує можливість вибору потрібного кодека для різного ступеня стиснення відеоданих для різних режимів польоту за висотою і швидкістю та умов знімання відео, а також можливість передавання стисненого відео радіоканалом із борту БПЛА в реальному часі.

Оцінювання якості відеоданих після процедури їхнього стиснення проводили з використанням сучасних статистичних метрик, що враховують властивості зорової системи людини (HVS), які докладно та зрозуміло викладено в роботах [12, 13].

Аналіз публікацій [10,11] показав, що процедури попереднього оброблення стислих відеоданих також істотно підвищують якість роботи системи відеоспостереження.

Проведений аналіз засвідчив необхідність продовження досліджень, які принесуть безсумнівну користь для підвищення ефективності використання бортових систем відеоспостереження БПЛА.

3. Вибір основних параметрів мобільної системи відеоспостереження

На початку розробки було сформульовано обґрунтовані вимоги до формату реєстрованих відеоданих з урахуванням сучасних стандартів. Враховувалися вимоги до якості відео та необхідність передавання даних з борту БПЛА на наземний командний пункт у реальному масштабі часу. Для стиснення відео використовувалися стандартні сучасні кодеки. Особливо важливий момент – вибір мікрокомп'ютерної платформи і відеореєстраторів. Розглянемо комплекс цих завдань докладніше.

Канал зв'язку БПЛА – наземний командний пункт. Під час вибору параметрів захоплення відео бралися до уваги вимоги доступного стандарту НАТО STANAG 4609 та його другої редакції "Керівництва з реалізації" і стандарту AEDP-8, який має за мету підвищення здатності до взаємодії між системами контролю і управління (C3I) НАТО в питаннях обміну цифровими мультимедійними зображеннями (телевізійними, радіолокаційними тощо), зокрема такими, що формуються на борту БПЛА. В цих стандартах акумульовано найкращий світовий досвід у відповідній галузі.

Основа вимог до каналів передачі даних – якість мультимедійної інформації. Це розрядність і форма пікселів, їхня кольоровість, а також кількість пікселів у кадрі зображення, частота кадрів, формат кадру (співвідношення сторін), ступень стиснення зображення, імовірність появи помилкових пікселів у кадрі.

Усі наявні та заплановані до розроблення протягом 5 – 10 років відеосистеми військового призначення в країнах НАТО, зокрема для БПЛА, в даний час переводять на стандарт відео високої чіткості (HD) SMPTE 296M-2001 з прогресивною розгорткою і форматом зображення 1920×1080×50p (60p). Керівництво AEDP-8 детально класифікує зображення за рівнями MISM. Рівні складності високої роздільної здатності: MISM-L10H та MISM-L9H наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні складності високої роздільної здатності

Рівень складності	Роздільна здатність по горизонталі,	Роздільна здатність по вертикалі,	Глибина пікселів, біт	Частота кадрів, Гц	Коефіцієнт стиснення	Швидкості передавання даних, Мбіт/с
MISM-L10H	1280-1920	720-1080	8 або 10	24-60	20 : 1	17 - 50
MISM-L9M	1280-1920	720-1080	8	24-60	45 : 1	10 - 44,7

Основним показником якості системи відеоспостереження БПЛА будемо вважати бітрейт (від англ. bitrate). Це кількість біт, які використовуються для передавання даних за одиницю часу. Бітрейт використовують під час вимірювання ефективної швидкості передавання потоку даних каналом, тобто мінімального розміру каналу, який зможе пропустити цей потік без затримок. Бітрейт є фундаментальним компонентом, який безпосередньо впливає на візуальну точність і загальне враження від перегляду. Доступна пропускна здатність визначає максимальний бітрейт, який може бути доставлений без переривань або буферизації. У таблиці 2 показано діапазони значень бітрейта для відео різних форматів із різною швидкістю відеопотоку fps (від англ. frame rate per second).

Таблиця 2

Значення бітрейта для відео різних форматів в Мбіт/с

fps	Розмір фрейму				
	480p (854*480)	720p (1280*720)	1080p (1920*1080)	2k (2560*1440)	4k (3840*2160)
24	0.8 – 1.5	1.8 – 3.5	4.0 – 7.5	7.0 – 13.0	15.0 – 28.0
30	1.0 – 1.8	2.0 – 4.0	4.5 – 9.0	8.5 – 16.0	18.0 – 35.0
50	1.8 – 3.0	3.5 – 7.0	8.0 – 15.0	14.0 – 25.0	25.0 – 60.0
60	2.0 – 3.5	4.0 – 8.0	9.5 – 18.0	17.0 – 30.0	35.0 – 75.0

Вибір мікрокомп'ютера та відеокамери. Для побудови сучасної відеоспостереження на базі БПЛА необхідно вибрати мікрокомп'ютер, здатний виконувати обробку відеопотоків у режимі реального часу та взаємодіяти з різноманітними сенсорами й камерами. Серед доступних варіантів на ринку, таких як BeagleBone, NVIDIA Jetson, та Raspberry Pi, останній виділяється завдяки своїй компактності, низькій вартості, енергоефективності, а також великій кількості підтримуваних бібліотек і наявності активної спільноти розробників.

Raspberry Pi (модель 5) оснащений чотириядерним процесором Quad Arm Cortex-A76 до 2.4 ГГц і підтримкою до 8 ГБ оперативної пам'яті, що забезпечує достатню продуктивність для базових та середнього рівня завдань відеообробки. Крім того, Raspberry Pi дає змогу працювати з мовою програмування Python і бібліотекою OpenCV, що дозволяє ефективно реалізовувати алгоритми обробки зображень і відео. Використання Python прискорює процес розробки завдяки високорівневим бібліотекам, а OpenCV надає доступ до широкого набору інструментів для комп'ютерного зору. Особливо важливим для проекту є підтримка Raspberry Pi апаратного стиснення відео. Мікрокомп'ютер оснащений відеопроцесором (VideoCore VII), що забезпечує апаратне стиснення відео за допомогою кодаків H.264 (1080p60) та H.265 (4Kp60). Це дозволяє значно знизити навантаження на центральний процесор, забезпечуючи плавну роботу навіть при високих роздільних здатностях та в реальному часі. Апаратне декодування критичне для обмежених ресурсів БПЛА, де оптимальне споживання енергії та ефективна обробка даних є вирішальними для збільшення тривалості польоту та стабільності роботи системи.

Для розширення можливостей, Raspberry Pi має широкий набір портів, що дозволяють інтегрувати додаткові модулі та сенсори, необхідні для БПЛА. Основні інтерфейси включають:

- 40-контактний GPIO (General Purpose Input/Output) – використовується для підключення сенсорів і актуаторів, таких як акселерометри, гіроскопи або датчики температури;
- UART – інтерфейс для підключення високоточних датчиків та модулів (GPS для позиціонування, барометри для визначення висоти, магнітометри для визначення напрямку руху);
- MIPI CSI/DSI – для підключення модулів камер зйомки в реальному часі, які підтримують високу роздільну здатність і частоту кадрів; RTC – для встановлення будильника, який переведе плату в стан дуже низького енергоспоживання; HDMI 2.0 – для виведення відео або підключення дисплеїв; USB 3.0 порти – для підключення високошвидкісних зовнішніх пристроїв.

Завдяки цим можливостям Raspberry Pi може бути адаптований для різноманітних задач, що робить його ідеальним вибором для створення багатофункціональної системи відеоспостереження на БПЛА. Інтеграція сенсорів, таких як модулі GPS, гіроскопи, акселерометри та інші спеціалізовані датчики, забезпечує стабільний політ і точне позиціонування, що є ключовими для завдань відеомоніторингу та збору даних в реальному часі.

Raspberry Pi також підтримує підключення різноманітних камер, зокрема, Camera Module 3 і High Quality Camera, які забезпечують високу якість зображення з роздільною здатністю до 12 МП. Camera Module 3 має автофокус та підтримує HDR, що є особливо корисним у змінних умовах освітлення, тоді як High Quality Camera надає можливість використовувати змінні об'єктиви, що дозволяє адаптувати камеру для спеціалізованих завдань спостереження. Для завдань машинного зору може бути застосована AI Camera з інтегрованим процесором, який дозволяє виконувати базові обчислення на рівні камери, зменшуючи навантаження на основний процесор.

Вибір методу та алгоритмів стиснення відео. Це важливий етап у розробленні алгоритмів обробки та передачі даних в системах відеоспостереження на базі БПЛА. Розглянемо основні методи та алгоритми стиснення для потокового відео, а також їхні особливості та переваги з урахуванням апаратного

прискорення на Raspberry Pi. У цьому проєкті було запропоновано використовувати такі кодеки стиснення:

- кодек H.264, також відомий як Advanced Video Coding (AVC), є одним з найпоширеніших стандартів для стиснення відео. Він пропонує хорошу якість зображення при відносно низькій швидкості бітрейту. Це найбільш прийнятно для потокового відео. Кодек H.264 використовує складні методи обробки, такі як міжкадрове стиснення та блокове стиснення. Це дозволяє зменшити обсяги даних, зберігаючи при цьому високу якість. Апаратне прискорення на Raspberry Pi через OpenMAX дозволяє ефективно кодувати та декодувати відео в режимі реального часу.

- кодек H.265, або High Efficiency Video Coding (HEVC), є наступником кодака H.264 і забезпечує ще вищу ефективність стиснення. Він може зменшити бітрейт на 30 – 50 % у порівнянні з H.264 без значної втрати якості. H.265 використовує більш складні методи обробки, зокрема, обробку великих блоків (до 64x64 пікселів) і адаптивну планаризацію. Raspberry Pi підтримує H.265 через апаратне прискорення, що робить його чудовим вибором для відео високої роздільної здатності.

Для потокового стиснення відео, яке захоплюється БПЛА, найкращим вибором є кодек **H.265**, оскільки він забезпечує високу якість при значно менших розмірах файлів завдяки своїй ефективності стиснення. Апаратне прискорення на Raspberry Pi дозволяє використовувати цей кодек у режимі реального часу, що робить його ідеальним для даних застосувань. Кодек **H.264** залишається надійним альтернативним вибором, особливо для систем з обмеженими ресурсами або для забезпечення високої сумісності з різними пристроями.

4. Структура алгоритму захоплення, стиснення та оцінювання якості відео

Програмна реалізація проєкту виконана мовою програмування Python з використанням бібліотек OpenCV, GStreamer та FFmpeg для захоплення, стиснення та оцінки якості відео на Raspberry Pi. Кожен із цих інструментів виконує свою роль, оптимізуючи використання обмежених ресурсів.

Бібліотека комп'ютерного зору OpenCV застосовується для захоплення відеопотоку, попередньої обробки кадрів та оцінки показників якості. Завдяки Python-інтерфейсу OpenCV, можлива швидка інтеграція різних джерел відео з додатковими обробками та аналізом.

Основна частина стиснення під час захоплення відеопотоку виконується за допомогою бібліотеки GStreamer. Цей інструмент дозволяє ефективно стискати відео у режимі реального часу з підтримкою кодеків H.264 та H.265, що знижує обсяг переданих даних без значної втрати якості. GStreamer також підтримує апаратне прискорення, що суттєво розвантажує центральний процесор Raspberry Pi, перенаправляючи обробку на графічний процесор для ефективнішої компресії у реальному часі.

Бібліотека FFmpeg використовується для компресії відео, яке завантажується з папки, з подальшим аналізом якості стиснення. На відміну від GStreamer, що більш орієнтована на безперервне стиснення потокових даних, FFmpeg забезпечує додаткові налаштування параметрів, таких як бітрейт, роздільна здатність та формат. Це дозволяє створювати різні рівні стиснення, щоб визначити оптимальні параметри якості відео, особливо для подальшого аналізу якості.

Бібліотека GStreamer ефективніша для стиснення під час захоплення відео

у режимі реального часу, тоді як FFmpeg забезпечує більшу гнучкість для після-обробки відео, що робить його корисним інструментом для оцінки якості різних рівнів компресії. Загальну структуру універсального алгоритму відеозахоплення і стиснення показано на рис. 1.

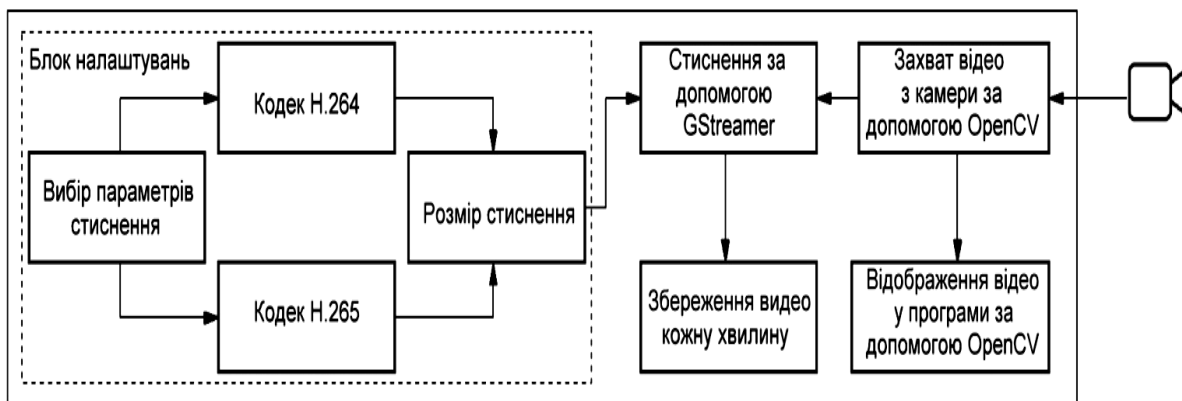


Рис. 1. Структура алгоритму захоплення та стиснення даних потокового відео

5. Створення тестової вибірки відеозображень

Для оцінки якості стиснення відео з БПЛА була сформована тестова вибірка відеозображень, яка дозволить отримати об'єктивні результати аналізу якості під час варіювання параметрів стиснення. Тестова вибірка має охоплювати різноманітні умови зйомки, зокрема змінну освітленість, наявність рухомих об'єктів, різний рельєф місцевості та інше. Це дозволяє оцінити роботу алгоритмів стиснення в умовах, наближених до реальних польотів БПЛА.

Для створення тестової вибірки було знайдено відео з відкритих ресурсів з використанням таких параметрів:

- Роздільна здатність: HD (1280x720), FullHD (1920x1080).
- Частота кадрів (fps): 30.
- Умови освітлення: лише денні, вечірні та нічні відео потребують інших методів зйомки.

Вибірка включає кадри, які представляють як статичні, так і динамічні сцени, що дозволяє краще зрозуміти вплив стиснення на різні типи контенту. Особливу увагу приділено вибору сцен із високим рівнем деталізації, оскільки такі сцени є більш критичними до втрат якості під час стиснення. Також до вибірки увійшли кадри з різними типами об'єктів, включаючи будівлі, дороги, зелені насадження, та рухомі транспортні засоби. Це дозволяє комплексно оцінити, як стиснення впливає на різні типи об'єктів та деталі зображення. Особливу увагу було приділено умовам, які є типовими для зйомки з БПЛА: велика висота зйомки, рух платформи, зміна куту огляду, наявність різноманітного фону та хмар.

Таким чином, створена тестова вибірка відеозображень забезпечує необхідну базу для проведення оцінки якості відео після стиснення. Це дозволяє визначити оптимальні параметри стиснення, які будуть застосовані під час відеоспостереження з БПЛА, забезпечуючи баланс між збереженням якості та мінімізацією розміру файлів для ефективного передачі даних.

На жаль, обмежений обсяг публікації дав змогу навести тільки два приклади відео з повільною і швидкою зміною сцени. Вони показані на рис.2.



а



б

Рис. 2. Зразки тестового відео:

а – з повільно мінливою сценою, б – зі сценою, що швидко змінюється

6. Візуальні оцінки якості стиснення потокового відео

Якість кадрів стисненого відеопотоку може визначатися статистичними і спектральними характеристиками яскравості зображень. У більшості практичних випадків якість розглядається як міра близькості двох кадрів – перетвореного і початкового. При такому підході можна як оцінювати суб'єктивну міру схожості зображень, так і отримувати об'єктивні оцінки параметрів сигналів зображення: моменти першого і другого порядку різницевого сигналу порівнюваних зображень, такі параметри перетворення, як відношення сигнал/шум, коефіцієнти стискування інформації та ін.

Суб'єктивні критерії – це критерії візуального сприйняття, що оцінюються в процесі експертизи деякою групою спостерігачів (експертів). Цей метод дозволяє оцінити такі характеристики зображення, як правильність перенесення кольорів, координатні спотворення, чистота переходів та ін.

Стиснення супроводжується неминучою втратою якості відеоданих. Для оцінки втрат та ступеня спотворень наведемо приклади візуального сприйняття відеоданих для різного ступеня стиснення різними кодеками. У першому випадку це тестові відео з малою динамікою зміни сцени під час оглядової зйомки місцевості з великої висоти (рис. 3 та рис. 4), а в другому прикладі – велика динаміка зміни сцени для відео при швидкому русі БПЛА на малій висоті (рис.5 та рис.6).



а



б

Рис. 3. Стиснення відео формату FHD з бітрейтом 500 kb/s
а – кодеком H264 і б – кодеком H265



а



б

Рис. 4. Стиснення відео формату FHD з бітрейтом 4 Mb/s
а – кодеком H264 і б – кодеком H265

Наведені приклади наочно показують, що навіть на рівні візуального сприйняття користувачеві легко знайти компроміс між якістю відео, ступенем стиснення даних і швидкістю їхнього передавання каналом зв'язку з пунктом управління БПЛА.



а



б

Рис. 5. Стиснення відео формату FHD з бітрейтом 500 kb/s
а – кодеком H264 і б – кодеком H265



а



б

Рис. 6. Стиснення відео формату FHD з бітрейтом 4 Mb/s
а – кодеком H264 і б – кодеком H265

7. Використані оцінки ефективності стиснення відео

У практиці опрацювання цифрових зображень заведено використовувати кілька популярних кількісних статистичних показників для оцінювання якості перетворень. У нашому випадку доцільно використовувати такий набір показників:

1. AMBE (*Absolute Mean Brightness Error*). Для оцінки якості кадрів

стисненого потокового відео прийнято оцінювати абсолютну помилку середньої яскравості AMBE. Вона визначається як абсолютна різниця між середнім значенням яскравості вихідного та перетвореного кадрів і є важливим маркером якості перетворення.

$$AMBE = |AFB_{I_{output}} - AFB_{I_{input}}| \quad (1)$$

де I_{input} та I_{output} позначають вихідний і перетворений кадр відповідно, а AFB позначає середнє статистичне значення яскравості кадру й обчислюється за формулою

$$AFB = \frac{1}{MN} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M V(n, m), \quad (2)$$

де $V(n, m)$ – двовимірний масив чисел, що визначають яскравість пікселів зображення фрейма розміром $M \times N$.

Зменшення значення AMBE вказує на краще збереження яскравості зображення. Рівняння (1) ясно показує, що AMBE призначений для виявлення одного з неприємних спотворень – надмірної зміни яскравості.

2. PSNR (peak signal to noise ratio). Зазвичай як показник подібності використовують пікове відношення сигнал/шум, що визначається формулою

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}, \quad (3)$$

де середньоквадратична помилка MSE (mean square error) визначається виразом

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(m, n) - C(m, n))^2. \quad (4)$$

Тут $I(m, n)$ і $C(m, n)$ – вихідне і стиснене зображення фрейма. Цей показник використовують для аналізу якості перетворень у більшості додатків [14,15].

3. NCC (Normalized-cross-correlation). NCC показує, наскільки сильно I_{input} і I_{output} корелюють між собою. Значення NCC лежить у діапазоні від 0 до 1. Якщо значення NCC дорівнюють 1, це означає, що ці кадри повністю ідентичні. NCC представляється формулою

$$NCC = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (S(i, j) \times C(i, j))}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (S(i, j))^2}. \quad (5)$$

4. SSIM (Structural similarity index measurement) – вимірювання індексу структурної подібності. Це метрика оцінки якості кадрів, яка порівнює два кадри для отримання подібності між ними. Пропонується як поліпшення PSNR. SSIM набуває форми

$$SSIM(C, S) = \frac{(2\mu_C\mu_S + c_1) \times (2\sigma_{CS} + c_2)}{(\mu_C^2 + \mu_S^2 + c_1) \times (\sigma_C^2\sigma_S^2 + c_2)}, \quad (6)$$

де μ_C – середнє значення C кадру I_{output} , μ_S – середнє значення S пікселів кадру I_{input} , σ_C^2 – дисперсія C , σ_S^2 – дисперсія S , σ_{CS} – коваріація C і S , $c_1 = (K_1L)^2$ та $c_2 = (K_2L)^2$ – дві змінні, що стабілізують поділ зі слабким знаменником, L – динамічний діапазон значень пікселів, $K_1 = 0,01$ и $K_2 = 0,03$ за замовчуванням.

8. Дослідження якості стиснення кодеками H.264 та H.265

Одним із ключових питань є ефективне стиснення відео для забезпечення передачі даних у реальному часі з мінімальними витратами на ресурси, зберігаючи високу якість відео.

Для стиснення відео була написана програма, що дозволяє вибирати різні бітрейти та кодеки для оптимізації якості відео. Програма використовує бібліотеку OpenCV з підтримкою FFmpeg, що дозволяє ефективно обробляти відео з різними параметрами, досягаючи оптимального співвідношення між якістю та швидкістю стиснення. Залежно від вибраного бітрейту та кодека (H.264 або H.265), програма формує команду для FFmpeg, яка виконує стиснення відео.

Бітрейти, які використовуються для стиснення, включають значення Maxrate [500, 1500, 4000] кілобіт на секунду. Maxrate – це максимальний бітрейт, який програма намагається досягти при стисненні відео. Однак фактичний бітрейт може відрізнятись від значення maxrate залежно від складності сцени, вибраного кодека та налаштувань стиснення.

Дослідження проводилося для відео з різними динамічними сценами для роздільних здатностей (1080p та 720p) та з різним бітрейтом тим самим досягаючи різний ступінь стиснення. Отримані результати представлені показниками PSNR, AMBE, NCC, SIM.

8.1. Якість стиснення відео кодеками H.264 і H.265 для повільної зміни сцени

Для аналізу стиснення відео під час повільної зміни сцени було обрано відео, зняте під час польоту БПЛА на великій висоті над сільською місцевістю та лісом. Далі наведено графіки трендів зміни якості в залежності від кадру відео (рис. 7 – рис. 12).

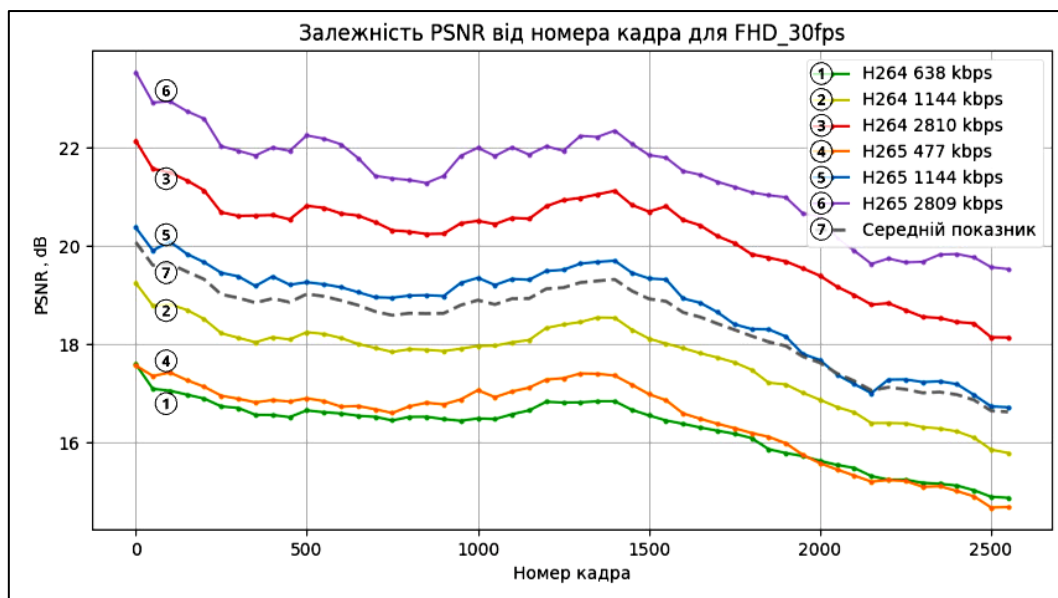


Рис. 7. Тренд зміни PSNR відео з різними параметрами стиснення для відео формату 1080p

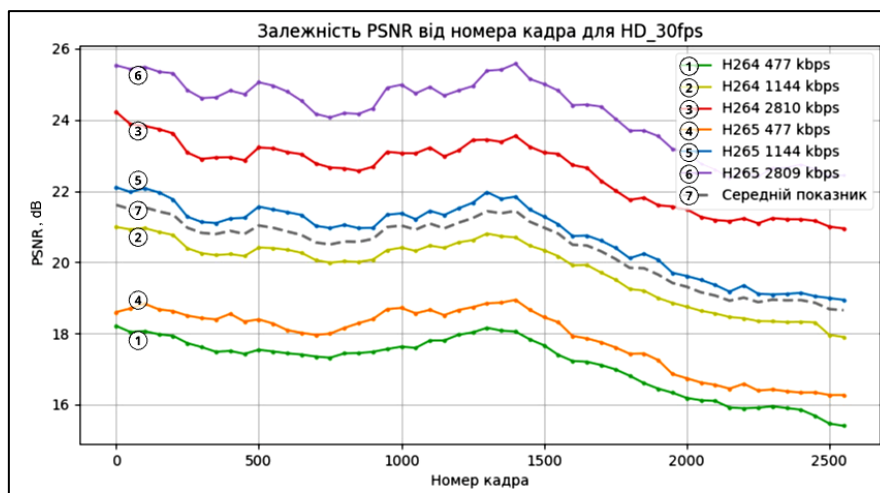
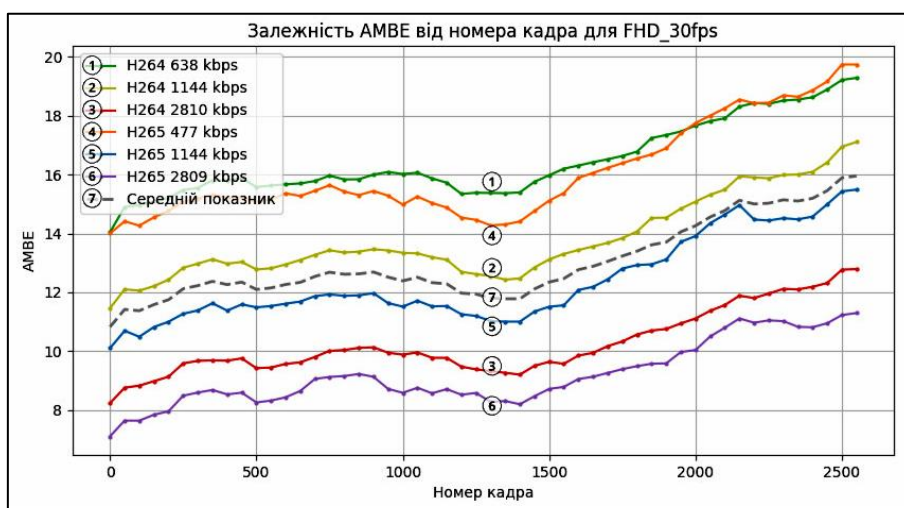
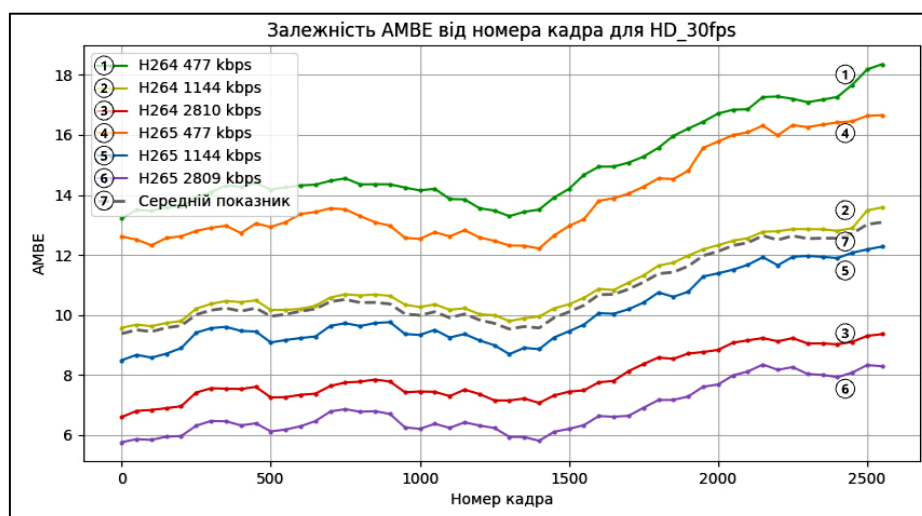


Рис. 8. Тренд зміни PSNR відео з різними параметрами стиснення для відео формату 720p

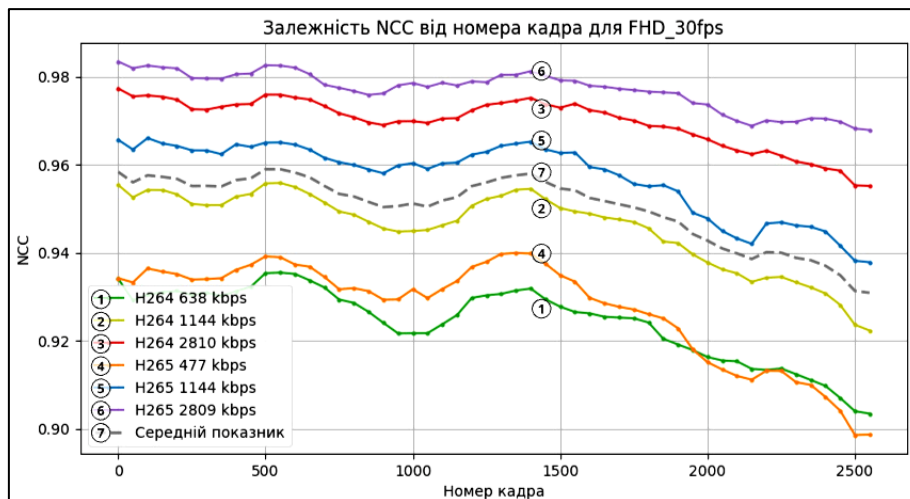


а

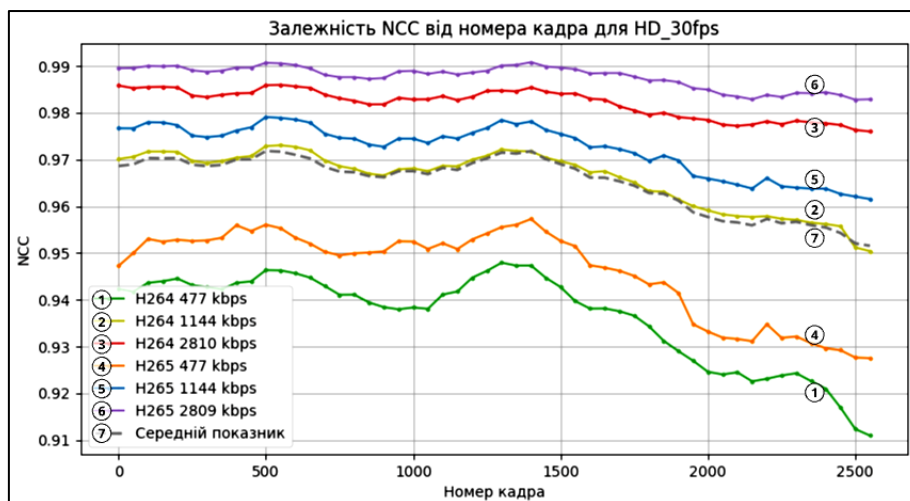


б

Рис. 9. Тренд зміни AMBE відео з різними параметрами стиснення. Формат кадру: а – 1080p, б – 720p



а



б

Рис. 10. Тренд зміни NCC відео з різними параметрами стиснення.
Формат кадру: а – 1080р, б – 720р

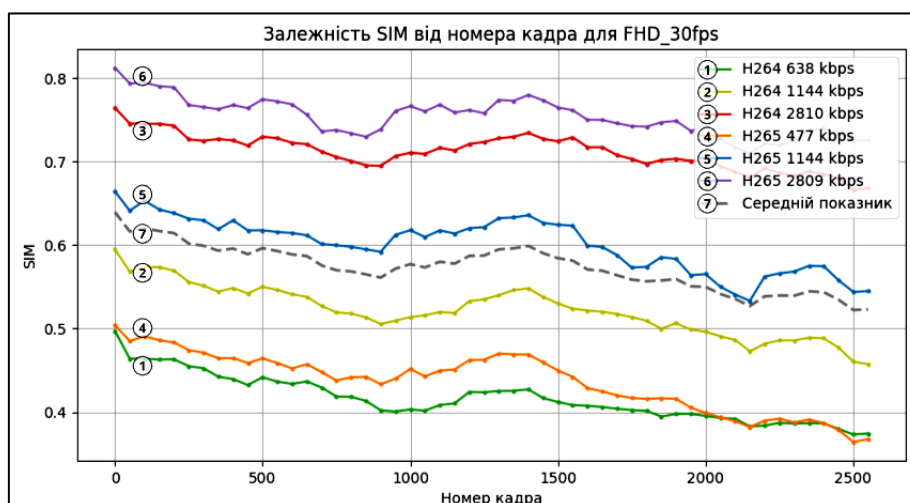


Рис. 11. Тренд зміни NCC відео з різними параметрами стиснення
для відео формату 1080р

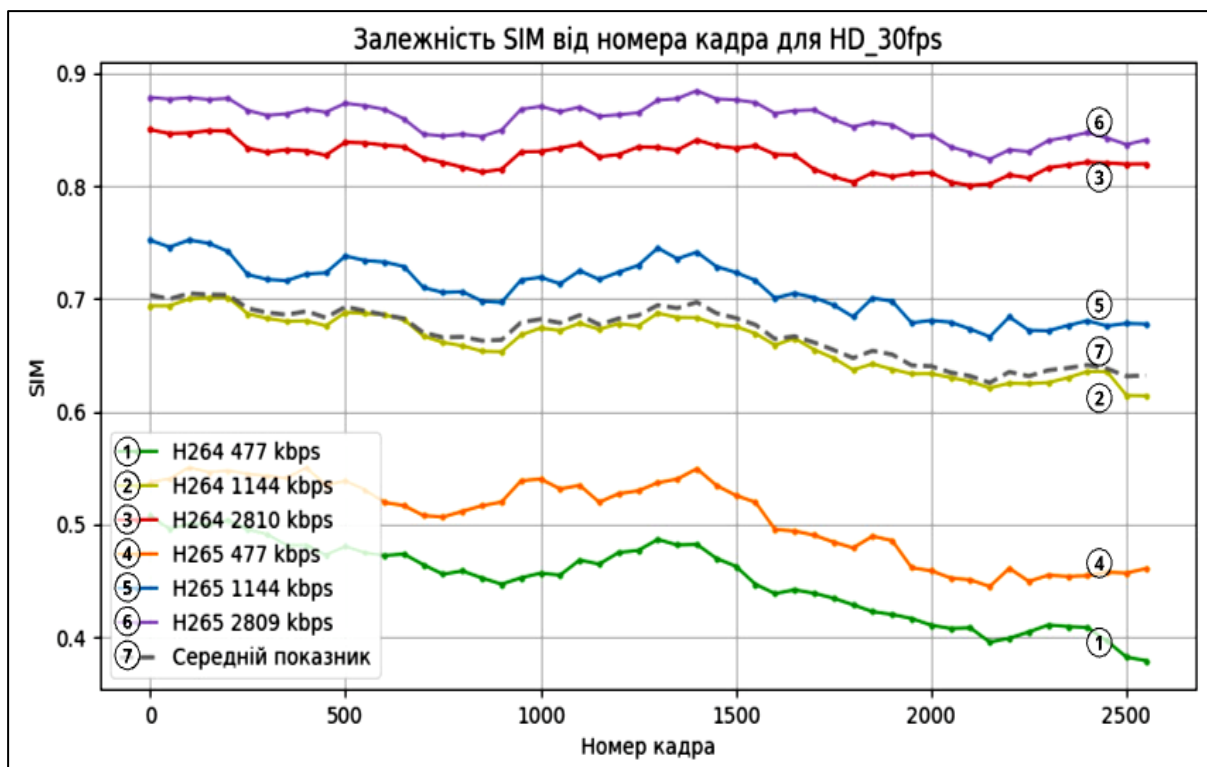


Рис. 12. Тренд зміни NCC відео з різними параметрами стиснення для відео формату 720p

По графікам зробимо висновок, що кодек H.265 при будь-якому бітрейті забезпечує кращу якість відео порівняно з кодеком H.264, демонструючи вищі значення PSNR, SIM та NCC, а також менші значення AMBE. Це підтверджує його ефективність для стиснення відео при збереженні якості, особливо для відео з високою деталізацією, наприклад, FHD. Кодек H.264 при низьких бітрейтах значно програє, особливо щодо якості передачі яскравості та рівня шуму, що робить його менш ефективним для застосувань, де важлива висока якість.

З таблиці 3 видно, що відео стиснене кодеком H.265 виявилось більш ефективним, ніж відео стиснене кодеком H.264 при однаковому максимальному бітрейті. При бітрейті 500 kbps, кодек H.265 забезпечив нижчий показник MSE та вищий коефіцієнт PSNR, що свідчить про кращу якість зображення (в порівнянні з кодеком H.264). При максимальному бітрейті і 4000 kbps спостерігається збереження подібної тенденції – кодек H.265 має вищі показники PSNR, а також менші значення MSE, що свідчить про найкраща якість компресії з кращою ефективністю.

Для HD відео, помітно, що кодек H.265 краще кодека H.264 за показниками якості при однакових бітрейтах. При бітрейті 500 kbps кодек H.265 має нижчий MSE і вищий PSNR, що покращує якість зображення. Зі збільшенням бітрейту до 4000 kbps кодек H.265 також дає кращі результати. Узагальнюючи результати можна стверджувати, що кодек H.265 показав більш високу ефективність стиснення, ніж H.264, при однакових умовах. Кодек H.265 забезпечує кращі показники якості зображення, такі як нижчий MSE, вищий PSNR та вищі значення NCC і SIM, що вказує на кращу кореляцію і подібність з оригінальним відео. Можна зробити висновок, що для стиснення відео на базі безпілотних систем варто обирати кодек H.265.

Таблиця 3

Порівняльна таблиця якості стиснення

Макс. битрейт, kbps	Фактичний бітрейт, kbps	Кодек	Коефіцієнт стиснення	Середній показник якості відео 1080p				
				MSE	PSNR	NCC	SIM	AMBE
Показники якості відео 1080p без динамічних сцен								
500	477	H.265	10.78	1514	16.43	0.927	0.437	16.12
	638	H.264	8.07	1563	16.26	0.924	0.418	16.44
1500	1143	H.265	4.5	906	18.72	0.957	0.602	12.38
	1143	H.264	4.5	1144	17.67	0.945	0.522	13.82
4000	2809	H.265	1.83	490	21.42	0.977	0.755	9.187
	2809	H.264	1.83	649	20.17	0.969	0.712	10.26
Показники якості відео 720p без динамічної сцени								
500	477	H.265	5.54	1101	17.83	0.945	0.506	13.931
	477	H.264	5.54	1291	17.123	0.935	0.451	15.054
1500	1143	H.265	2.31	571	20.72	0.97	0.709	10.07
	1143	H.264	2.31	709	19.75	0.965	0.66	11.06
4000	2809	H.265	0.94	258	24.19	0.987	0.859	6.82
	2809	H.264	0.94	374	22.54	0.982	0.826	7.913

8.2. Якість стиснення відео кодеками H.264 і H.265 для швидкій зміні сцени

Для аналізу стиснення відео з динамічними сценами було вибрано відео відзняте з БПЛА який пролітає над дорогою де рухається автотранспорт, а вздовж дороги стоять різноманітні будинки. Далі наведено графіки трендів зміни якості в залежності від кадру відео Наведено графіки тренда зміни якості в залежності від кадру відео (рис. 13 – рис. 18).

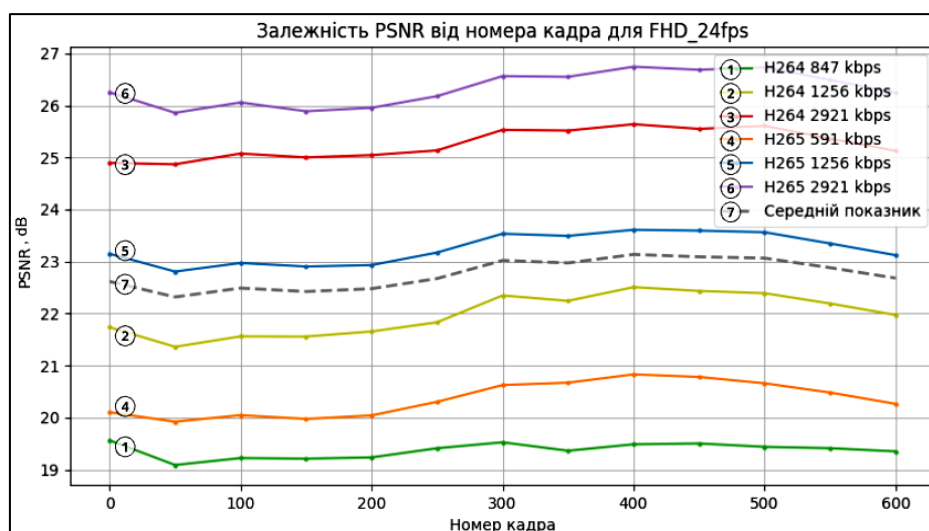


Рис. 13. Тренд зміни PSNR відео з різними параметрами стиснення для відео формату 1080p

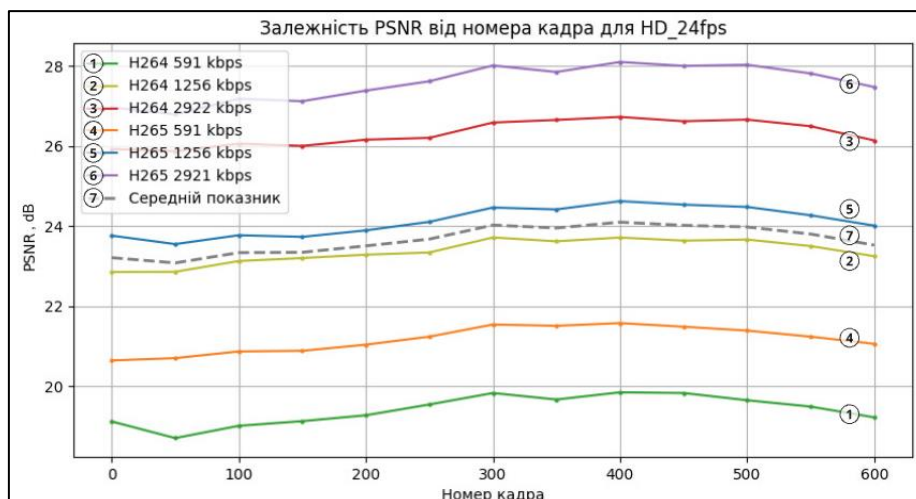
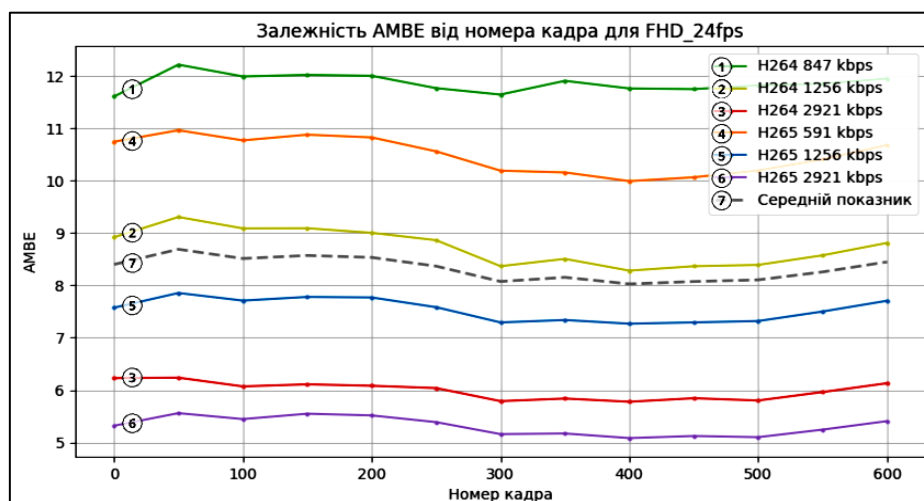
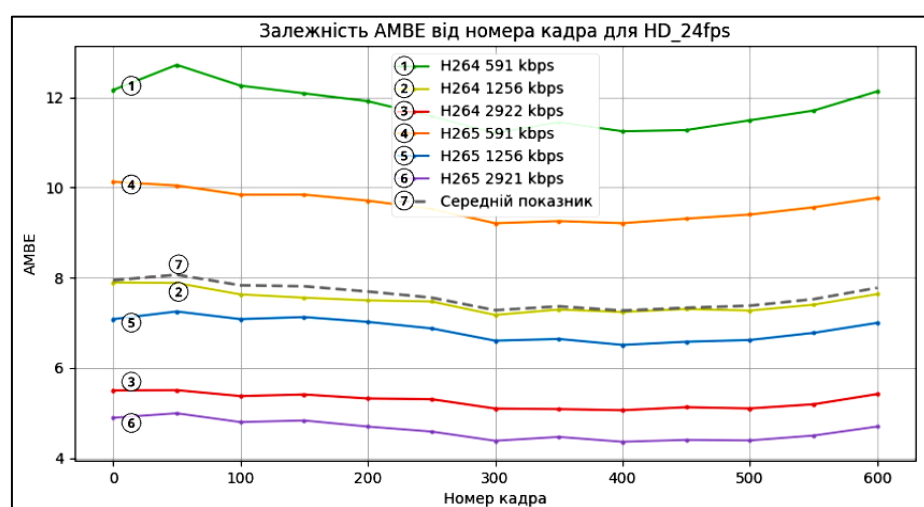


Рис. 14. Тренд зміни PSNR відео з різними параметрами стиснення для відео формату 720p

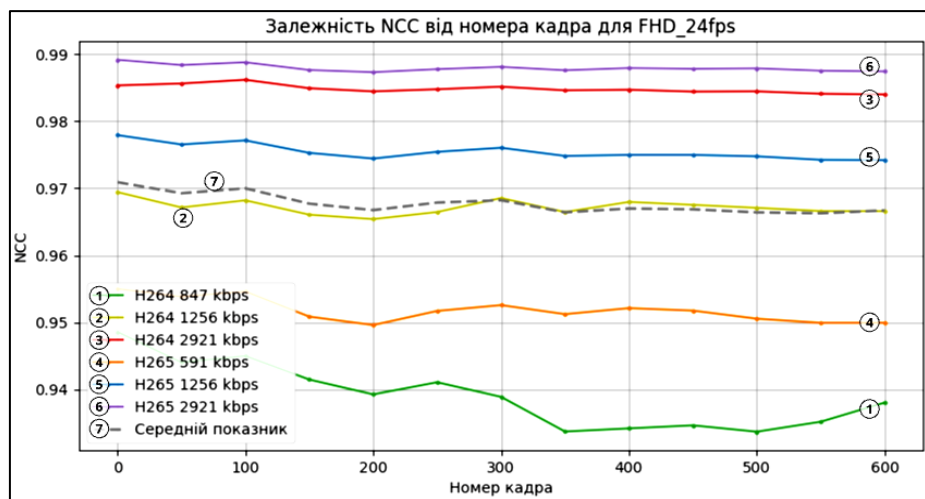


а

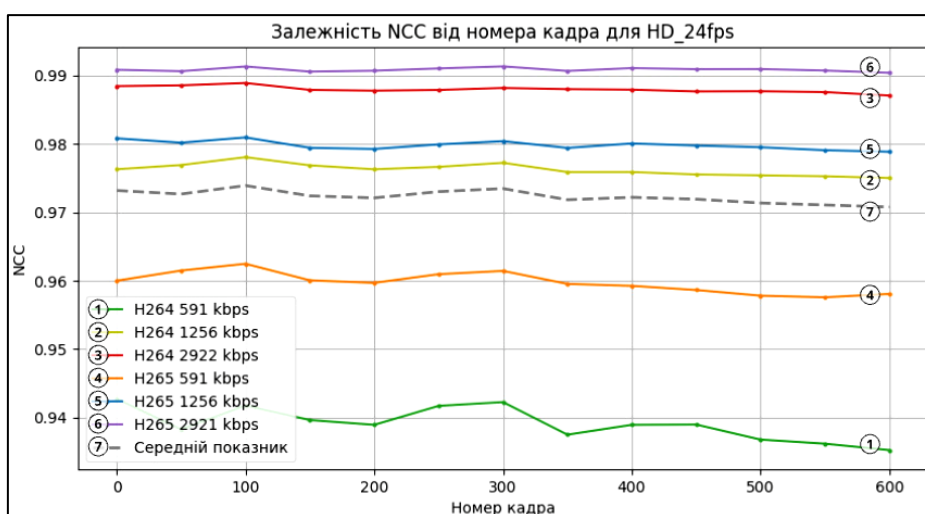


б

Рис. 15. Тренд зміни AMBE відео з різними параметрами стиснення. Формат кадру: а - 1080p, б – 720p



а



б

Рис. 16. Тренд зміни NCC відео з різними параметрами стиснення.
Формат кадру: а - 1080р, б – 720р

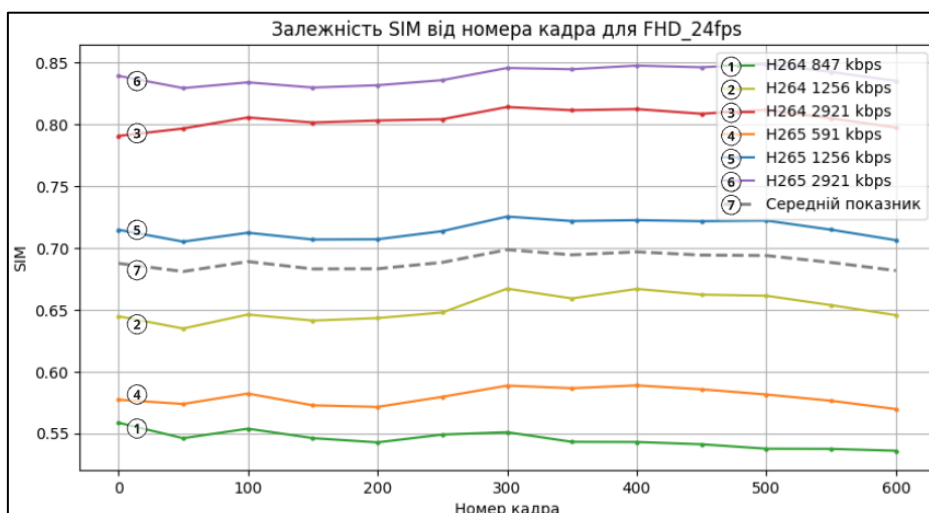


Рис. 17. Тренд зміни SIM відео з різними параметрами стиснення
для відео формату 1080р

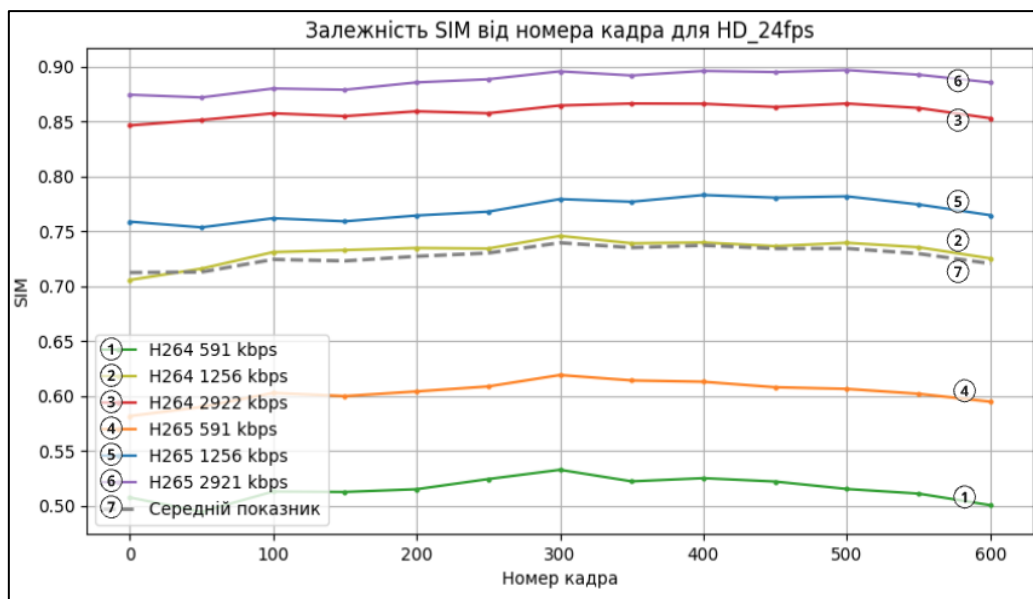


Рис. 18. Тренд зміни SIM відео з різними параметрами стиснення.
для відео формату 720p

Зробимо порівняльну таблицю 4 якості стиснення для 1080p відео з різними кодеками та бітрейтом.

Таблиця 4

Порівняльна таблиця якості стиснення

Макс. битрейт, kbps	Фактичний бітрейт, kbps	Кодек	Коефіцієнт стиснення	Середній показник якості відео				
				MSE	PSNR	NCC	SIM	AMBE
Показники якості відео 1080p з динамічною сценою								
500	590	H.265	9.96	614	20	0.95	0.576	10.60
	846	H.264	6.95	752	19.4	0.94	0.545	11.84
1500	1256	H.265	4.69	314	23.19	0.975	0.712	7.59
	1255	H.264	4.69	424	21.91	0.967	0.647	8.81
4000	2920	H.265	2.02	154	26.28	0.988	0.838	5.34
	2920	H.264	2.02	201	25	0.98	0.799	6.08
Показники якості відео 720p з динамічною сценою								
500	590	H.265	5.21	518	21.03	0.959	0.595	9.76
	591	H.264	5.21	772	19.31	0.938	0.509	11.935
1500	1256	H.265	2.45	260	24.02	0.979	0.765	6.943
	1256	H.264	2.45	313	23.21	0.975	0.723	7.621
4000	2921	H.265	1.05	119	27.42	0.990	0.884	4.69
	2921	H.264	1.05	158	26.20	0.987	0.854	5.35

Аналіз графіків показує, що кодек H.265 в цілому перевищує кодек H.264 за всіма ключовими показниками якості при більш високих бітрейтах. Це проявляється у більш низьких значеннях MSE та AMBE. Це краща здатність H.265 зберігати деталі відео та мінімізувати втрати якості після стиснення. Крім того, кодек H.265 показав вищі значення PSNR та NCC що вказує на більш точне збереження візуальних характеристик відео та високу схожість з оригінальним відео при стисненні. Важливо відзначити, що при зниженні бітрейту, значення AMBE та MSE для H.264 стали більш стабільними, що робить цей кодек більш підходящим для умов, де необхідно обмежити максимальний бітрейт, при цьому зберігаючи відносно хорошу якість. Однак, навіть при низьких бітрейтах H.265 все одно забезпечує кращі результати, що робить його кращим вибором для збереження високої якості відео при оптимальних розмірах файлів.

Можемо зробити висновок що для більшості сценаріїв, де важливо зберігати високу якість відео при стисненні, H.265 є оптимальним вибором, оскільки забезпечує значно кращі результати при меншому розмірі файлу порівняно з H.264.

9. Дослідження швидкодії та коефіцієнту стиснення кодеками H.264 та H.265

При дослідженні швидкодії та коефіцієнту стиснення було проаналізовано вплив різної роздільної здатності відео (1080p та 720p) на час стиснення для кодеків H.264 та H.265. Кодек H.264 забезпечує високу ступень стиснення відео, але його швидкодія є вищою, ніж у H.265, який потребує більше обчислювальних ресурсів через більш складні методи передбачення та оптимізації.

Для оцінки швидкодії було проведено тестування з різним бітрейтом для обох кодеків та двох різних по сцені відео при роздільних здатностях 1080p та 720p. Побудуємо порівняльну таблицю 5 швидкості стиснення FHD відео з різними кодеками та бітрейтом. З результатів таблиці 5 видно, що кодек H.265 забезпечує стабільніший час стиснення на 1 секунду відео незалежно від максимального бітрейту, з фіксованим значенням близько 0,159 с для відео без динамічної сцени. Натомість H.264 демонструє трохи більший час стиснення, що зростає з підвищенням бітрейту. У відео з динамічною сценою H.265 також зберігає тенденцію стабільності, проте його час стиснення навіть знижується, що свідчить про оптимізацію алгоритму для складніших сцен.

Порівнюючи коефіцієнт стиснення, можна зазначити, що H.265 показує вищу ефективність при низьких бітрейтах (наприклад, 500 kbps), що забезпечує менший обсяг даних для збереження або передачі. Час стиснення на 1 МБ відео для H.265 є меншим у порівнянні з H.264 при всіх бітрейтах, що свідчить про більш ефективне використання ресурсів для обробки великих файлів. Далі побудуємо порівняльну таблицю 5 швидкості стиснення HD відео з різними кодеками та бітрейтом.

Далі побудуємо порівняльну таблицю 6 швидкості стиснення HD відео з різними кодеками та бітрейтом.

Аналізуючи таблиці для HD відео, відзначимо, що поведінка кодеків змінюється. Кодек H.265 має трохи більший час стиснення на 1 секунду відео у порівнянні з H.264 для відео без динамічної сцени. Проте, при стисненні 1 МБ відео, H.265 показує кращі результати, особливо при високих бітрейтах, що свідчить про його ефективність у зменшенні розміру файлів.

Таблиця 5

Порівняна таблиця швидкості стиснення FHD відео

Макс. битрейт, kbps	Фактичний битрейт, kbps	Кодек	Коефіцієнт стиснення	Час стиснення на 1 сек відео, с	Час стиснення на 1 МБ відео, с
Показники швидкості стиснення відео формату 1080p при повільній зміні сцени					
500	477	H.265	10.78	0.159	2.797
	638	H.264	8.07	0.171	2.251
1500	1143	H.265	4.5	0.159	1.168
	1143	H.264	4.5	0.182	1.337
4000	2809	H.265	1.83	0.159	0.474
	2809	H.264	1.83	0.173	0.518
Показники швидкості стиснення відео формату 1080p при швидкій зміні сцени					
500	477	H.265	9.96	0.1461	2.0739
	477	H.264	6.95	0.1518	1.5034
1500	1143	H.265	4.69	0.1368	0.9131
	1143	H.264	4.69	0.1480	0.9880
4000	2809	H.265	2.02	0.1362	0.3909
	2809	H.264	2.02	0.1500	0.4305

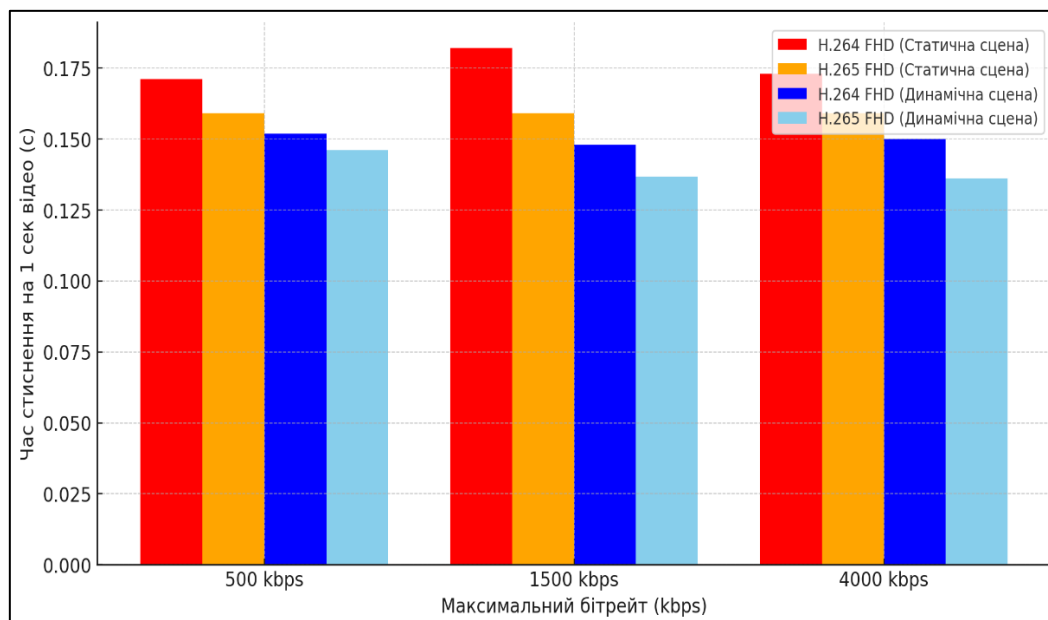
Таблиця 6

Порівняна таблиця швидкості стиснення HD відео

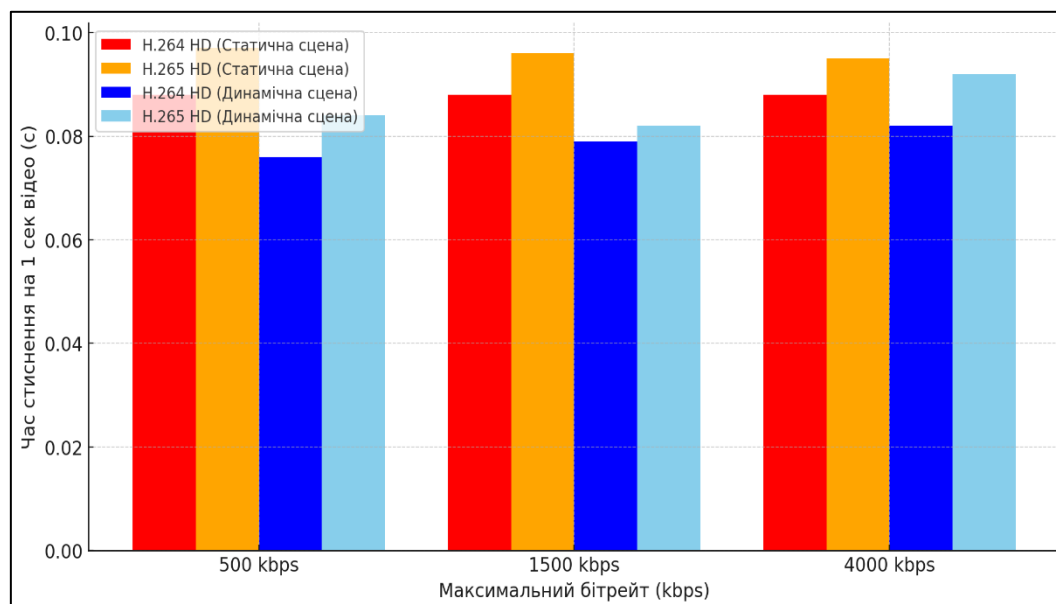
Макс. битрейт, kbps	Фактичний битрейт, kbps	Кодек	Коефіцієнт стиснення	Час стиснення на 1 сек відео, с	Час стиснення на 1 МБ відео, с
Показники швидкості стиснення відео формату 720p при повільній зміні сцени					
500	477	H.265	5.54	0.097	1.709
	477	H.264	5.54	0.088	1.549
1500	1143	H.265	2.31	0.096	0.705
	1143	H.264	2.31	0.088	0.648
4000	2809	H.265	0.94	0.095	0.284
	2809	H.264	0.94	0.088	0.264
Показники швидкості стиснення відео формату 720p при швидкій зміні сцени					
500	590	H.265	5.21	0.084	1.192
	591	H.264	5.21	0.076	1.087
1500	1256	H.265	2.45	0.082	0.553
	1256	H.264	2.45	0.079	0.530
4000	2921	H.265	1.05	0.092	0.264
	2921	H.264	1.05	0.082	0.235

При динамічній сцені обидва кодеки демонструють схожу ефективність щодо коефіцієнту стиснення. Проте, H.265 знову показує дещо більший час на 1 секунду відео, але зменшує час стиснення на 1 МБ, що є важливим показником при обмеженій пропускній здатності мережі.

Побудуємо графіки залежності швидкості стиснення від бітрейту для FHD і HD відео (рис. 19).



а



б

Рис. 19. Порівняння часу стиснення від бітрейту. а – для FHD, б – для HD

На основі цих графіків можна зробити висновок, що кодек H.265 забезпечує стабільний час стиснення відео на 1 секунду, особливо для FHD відео з

динамічними сценами. Це свідчить про його здатність до оптимальної роботи при більш складних умовах. У той же час, кодек H.264 демонструє кращі показники швидкості стиснення для статичних сцен, особливо при HD роздільній здатності, що може бути корисним для застосувань, де критично важливим є час обробки. Кодек H.265 підходить для ситуацій, де потрібно збалансувати якість та стабільність обробки, тоді як H.264 забезпечує швидшу обробку при меншій складності сцени.

Висновки

Таким чином, за результатами проведених досліджень було запропоновано універсальний алгоритм стиснення даних для системи відеоспостереження на борту БПЛА. Його реалізовано на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 5 мовою програмування Python. Аналіз якості роботи за показниками візуального сприйняття та об'єктивними критеріями виявив мінімальний рівень спотворень стисненого відео. Алгоритм забезпечує необхідний ступінь стиснення відеоданих для різних режимів польоту за висотою і швидкістю та умов знімання відео, а також можливість передавання стисненого відео радіоканалом із борту БПЛА в реальному масштабі часу. Автори надалі планують продовжити дослідження з підвищення якості роботи систем відеоспостереження на борту БПЛА.

Список літератури

1. STANAG 7023/AEDP-9 NATO Primary Image Format. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm.
2. STANAG 4607/AEDP-7. NATO Ground Moving Target Indicator Format. (GMTIF). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – www.nato.int/structur/AC/224/standard/4607/4607.htm.
3. STANAG 7085. Interoperable Data Links for Imaging Systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm.
4. STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format. [Електронний ресурс]. – Режим доступу; – www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm.
5. Pyung-Joo Park et al. Performance of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Communication System Adapting Wi Bro with Array Antenna. – Proceedings of the 11th international conference on Advanced Communication Technology, Volume 2, Feb. 15–18 2009, p. 1233–1237.
6. Tom Nelson, Michael Rice, Michael Jensen. Experimental Results for Space-Time Coding Using ARTM Tier-1 Modulation. – Proceedings of the International Telemetry Conference, Las Vegas, NV, October 2005, p. 90–100.
7. Chinese Patent № CN 113872667 A, МПК H 01 Q 1/24; H 01 Q 3/02, опубл. 31.12.2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/078994020/publication/CN113872667A?q=pn%3DCN113872667A>.
8. United States Patent № US 2008310742 A1, МПК G 06 V 10/25, G 06 V10/40, опубл. 18.12.2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/040132399/publication/US2008310742A1?q=pn%3DUS2008310742A1>.
9. Taiwan Patent № TW 202402056 A, МПК H 04 N 19/184; H 04 N 21/234,

опубл. 01.01. 2024 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/090457708/publication/TW202402056A?q=pn%3DTW202402056A>.

10. Bilozerskyi, V., Dergachov, K. & Krasnov, L. Analiz i poperednya obrobka videodanykh dlya pidvyshchennya yakosti roboty system tekhnichnoho zoru [Analysis and pre-processing of video data to improve the quality of computer vision systems]. Problemy keruvannya ta informatyky – Problems of control and informatics, 2023, vol. 68, no. 2, pp. 50–66. DOI: 10.34229/1028-0979-2023-2-4. (In Ukrainian).

11. Bilozerskyi, V., Dergachov, K., Krasnov, L. “New method for video stream brightness stabilization: algorithms and performance evaluation” Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems, 2023, no.3, pp. 125-135. doi: 10.32620/reks.2023.3.10.

12. Egiazarian, K., Ponomarenko, M., Lukin, V. & Ieremeiev, O. Statistical Evaluation of Visual Quality Metrics for Image Denoising. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Calgary, AB, Canada, 2018, pp. 6752-6756. DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8462294.

13. Lukin, V. V., Zriakhov, M. S., Ponomarenko, N. N., Krivenko, S. S. & Zhenjiang, M. Lossy compression of images without visible distortions and its application. IEEE 10th international conference on signal processing proceedings, Beijing, China, 2010, pp. 698-701. DOI: 10.1109/ICOSP.2010.5655751.

14. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org>.

15. Бібліотека OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opencv.org/>.

16. Бібліотека GStreamer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gstreamer.freedesktop.org/>.

17. A. Bhat, I.E. Richardson and C.S. Kannangara, ‘A Novel Perceptual Quality Metric for Video Compression, Proc. International Picture Coding Symposium 2009, Chicago, May 2009.

References

1. STANAG 7023/AEDP-9 NATO Primary Image Format. Available at: www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm (accessed 15.10.2024).

2. STANAG 4607/AEDP-7. NATO Ground Moving Target Indicator Format. (GMTIF). Available at: www.nato.int/structur/AC/224/standard/4607/4607.htm (accessed 15.10.2024).

3. STANAG 7085. Interoperable Data Links for Imaging Systems. Available at: www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm (accessed 20.10.2024).

4. STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format. Available at: www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm (accessed 20.10.2024).

5. Pyung-Joo Park et al. Performance of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Communication System Adapting Wi Bro with Array Antenna. – Proceedings of the 11th international conference on Advanced Communication Technology, Volume 2, Feb.15-18 2009, p. 1233–1237.

6. Tom Nelson, Michael Rice, Michael Jensen. Experimental Results for Space-Time Coding Using ARTM Tier-1 Modulation. – Proceedings of the International Telemetering Conference, Las Vegas, NV, October 2005, pp. 90-100.

7. Chinese Patent № CN 113872667A, МПК H01Q 1/24; H01Q 3/02. Published 31.12.2021. Available at: <https://worldwide.espacenet.com/patent/>

search/family/078994020/publication/CN113872667A?q=pn%3DCN113872667A (accessed 27.10.2024).

8. United States Patent № US 2008310742 A1, МПК G06V 10/25, G06V 10/40. Published 18.12.2018. Available at: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/040132399/publication/US2008310742A1?q=pn%3DUS2008310742A1> (accessed 27.10.2024).

9. Taiwan Patent № TW 202402056 A, МПК H 04 N 19/184; H 04 N 21/234. Published 01.01.2024. Available at: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/090457708/publication/TW202402056A?q=pn%3DTW202402056A> (accessed 27.10.2024).

10. Bilozerskyi, V. O., Dergachov, K. Yu. and Krasnov, L. O. Analiz i poperednya obrobka videodanykh dlya pidvyshchennya yakosti roboty system tekhnichnoho zoru [Tekst] [Analysis and pre-processing of video data to improve the quality of computer vision systems]. Problemy keruvannya ta informatyky – Problems of control and informatics, 2023, vol. 68, no. 2, pp. 50-66. DOI: 10.34229/1028-0979-2023-2-4. (In Ukrainian).

11. Bilozerskyi, V., Dergachov, K. and Krasnov, L. New method for video stream brightness stabilization: algorithms and performance evaluation [Text]. Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems, 2023, no. 3, pp. 125-135. doi: 10.32620/reks.2023.3.10.

12. Egiazarian, K., Ponomarenko, M., Lukin, V. and Ieremeiev, O. Statistical Evaluation of Visual Quality Metrics for Image Denoising. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Calgary, AB, Canada, 2018, pp. 6752-6756. DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8462294.

13. Lukin, V. V., Zriakhov, M. S., Ponomarenko, N. N., Krivenko, S. S. and Zhenjiang, M. Lossy compression of images without visible distortions and its application. IEEE 10th international conference on signal processing proceedings, Beijing, China, 2010, pp. 698-701. DOI: 10.1109/ICOSP.2010.5655751.

14. Raspberry Pi Foundation. Available at: <https://www.raspberrypi.org/> (accessed 23.10.2024).

15. OpenCV Releases. Available at: <https://opencv.org/releases/> (accessed 23.11.2024).

16. GStreamer. Open source multimedia framework. Available at: <https://gstreamer.freedesktop.org/> (accessed 23.11.2024).

17. A. Bhat, I.E. Richardson and C. S. Kannangara. A Novel Perceptual Quality Metric for Video Compression. Proc. International Picture Coding Symposium 2009, Chicago, May 2009.

Надійшла до редакції 18.12.2024, розглянута на редколегії 18.12.2024

Quality evaluation of a new data compression algorithm in modern video surveillance systems on board a drone

The subject of study. A new algorithm for real-time data compression in a video surveillance system from an unmanned aerial vehicle is proposed. The algorithm makes it possible to obtain different degrees of video data compression using different codecs for specific video recording conditions (UAV altitude and flight speed, nature of the observed terrain, etc.), and also provides the ability to transmit video data to the flight control point via radio channel. A detailed analysis of the quality of the proposed

algorithm for shooting in various video formats that meet international standards (HD and Full HD) was carried out, both in terms of visual perception and objective criteria. The purpose of the study was to conduct a comprehensive research on the problem of improving the quality of the video surveillance system from the UAV and to create a video compression algorithm that allows broadcasting video data to the control center in real time with high quality. Objectives. To develop and programmatically implement a video compression algorithm based on modern codecs for video surveillance systems on board a UAV. To use modern video cameras and a microcomputer platform as hardware. To analyze the quality indicators of the algorithm in different conditions. Methods used. Evaluation of visual perception of video compression results, statistical analysis and processing of the parameters of the analyzed video sequence as a random spatio-temporal process. Results. A new video data compression algorithm for the UAV video surveillance system based on the Raspberry Pi 5 microcomputer using modern video compression codecs H.264 and H.265 was synthesized. The algorithm provides the required compression ratio and data transmission rate over the radio channel between the UAV and the flight control center. Detailed estimates of the quality of the algorithm are obtained. Conclusions. Scientific novelty of the results: A new universal video data compression algorithm for video surveillance systems on board UAVs with the ability to transmit video over a radio channel in real time has been proposed and implemented. The quality of the proposed algorithm is verified on real video surveillance results. The proposed algorithm is implemented in the Python software environment.

Keywords: Video surveillance format, video compression ratio; video compression codecs, bit rate (data rate), real-time video compression algorithm.

Відомості про авторів

Краснов Леонід Олександрович – канд. техн. наук, доцент каф. «Систем управління літальних апаратів», Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Щербаков Денис Олександрович – студент каф. «Систем управління літальних апаратів», Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Джұлғаков Віталій Георгійович – доцент каф. «Систем управління літальних апаратів», Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

About the Authors

Leonid Krasnov – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Department «Aircraft Control Systems», National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: leonid.krasnov.1947@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2607-8423.

Denis Shcherbakov – student of Department «Aircraft Control Systems», National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: scherbakovden@gmail.com, ORCID: 0009-0002-7363-2255.

Vitalii Dzhaulgakov – Associate Professor, Department of Aircraft Control Systems, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: v.dzhaulgakov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-7586-1927.1