

УДК 621.327:681.5

# Метод кодування відеосегментів в спектрально-кластерному просторі з виявленням структурних особливостей

Бараннік В. В.<sup>1</sup>, Красноруцький А. О.<sup>3</sup>, Колесник В. О.<sup>2</sup>, Пчельніков С. І.<sup>3</sup>,  
Бабенко Ю. М.<sup>4</sup>, Шейгас О. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

<sup>3</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна

<sup>4</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

E-mail: [v.v.barannik@karazin.ua](mailto:v.v.barannik@karazin.ua)

Обґрунтовано напрямки підвищення ефективності надання дистанційних відеосервісів з використанням авіаційного інфокомунікаційного сегменту в процесі підтримки та прийняття рішень в системах критичної інфраструктури. Обґрунтовано наявність проблемних аспектів пов'язаних з якістю отримання відеоінформаційного ресурсу з авіаційних платформ. Перший стосується необхідності збільшення роздільної здатності відеознімків. Другий криється в наявності дисбалансу між: з одного боку означеними темпами значного зростання інформаційної інтенсивності відеоінформаційних потоків; з іншого боку – помітно відстаючими темпами збільшення пропускну здатності інфокомунікаційних систем на бортових платформах. Обґрунтовано, що для локалізації або усунення проблемних аспектів необхідно застосовувати технології зменшення бітової інтенсивності відеопотоку. Це дозволить зменшити інформаційне навантаження на мережу та створити умови для залучення надлишкових кодових конструкцій. Відповідно до цього необхідно для бортових комплексів проводити інтеграцію технологій компресії відеоданих. В статті ґрунтовно доводиться те, що необхідно розробити такі методи кодування в складі комплексних технологій обробки аерофотознімків, для яких забезпечується: додаткове врахування нових видів надмірності, що не пов'язані з виключенням психовізуальної надмірності; будівництва кодових конструкцій з більшою стійкістю до негативного впливу каналних помилок на процес декодування відеосегментів. Обґрунтовано переваги кластеризації відеосегментів в спектральному просторі за структурною ознакою кількість серій одиниць в двійковому описі їх компонент. Розроблено метод статистичного кодування трансформанти (масив коефіцієнтів при базисних функціях дискретного косинусного перетворення) в структурному просторі. Базовою складовою тут є встановлення статистичних залежностей в межах структурних кластерів з врахуванням: локальних особливостей спектральних компонент за їх діапазоном на основі структурних ознак в їх двійковому описі; зменшеної потужності статистичного простору та збільшити рівень нерівномірності розподілу кластеризованих компонент трансформанти. На основі проведених експериментальних досліджень показано те, що використання створеного методу кодування кластеризованих трансформант дозволяє підвищити рівень достовірності аерофотознімків за показником пікового відношення сигнал/шум в середньому на 50%.

*Ключові слова:* аерофотознімки; стиснення відеоданих; достовірність інформації; структурна кластеризація; кодування в спектрально-кластерному просторі; статистична надмірність

DOI: [10.20535/RADAP.2022.90.21-30](https://doi.org/10.20535/RADAP.2022.90.21-30)

## Вступ. Постановка проблеми

В умовах воєнного стану та підвищеного ризику виникнення кризових ситуацій (природного та техногенного характеру походження) головним питанням є забезпечення національної безпеки та оборони держави. В свою чергу це потребує забезпечення належного рівня функціонування об'єктів критичної інфраструктури. Відповідно значимою складовою

тут є вирішення питань щодо організації інформаційного забезпечення всіх ланок системи управління та підтримки рішень [1, 2].

Важливість відеоінформаційних ресурсів (ВІР) стосується того, що за їх допомогою надається найбільш повна та достовірна інформація про стан об'єктів моніторингу (контролю). Відповідно для надання своєчасного доступу до таких об'єктів ви-

користуються сучасні безпілотні авіаційні комплекси (БАК). Створюються умови для [3, 4]:

- своєчасного виявлення та оперативного реагування на кризові (надзвичайні) ситуації;
- формування актуальної (адекватної) інформації відносно стану та переміщення стаціонарних і рухомих об'єктів моніторингу [5, 6];
- моніторингу об'єктів в складних умовах рельєфу місцевості; під час ліквідації надзвичайних ситуацій, в тому числі пов'язаних з хімічним та/або радіаційним забрудненням;
- моніторингу масштабних за площею територій;
- збільшення кількості об'єктів одночасного моніторингу;
- виявлення та ідентифікації замаскованих об'єктів.

Отже особливої актуальності набирають дистанційні відеоінформаційні сервіси на базі безпілотних авіаційних платформ.

Саме тут виникають два проблемних аспекти.

**Перший проблемний аспект** стосується того, що такий спосіб організації щодо реєстрації та доставки відеоінформації пов'язаний з необхідністю збільшення роздільної здатності відеознімків. Це диктується тим, що збільшуються висота відеознімання (до 7000 м); вимоги щодо формування панорамних відеосцен. Звідси значною мірою підвищуються розміри відеокадрів за кількістю пікселів [7, 8]. Отже, роздільна здатність буде наступною:

- просторова для статичних відеозображень (панорамні аерофотознімки) знаходиться в межах від 8 до 100 М пікселей;
- роздільна здатність відеопотоку: в часовому просторі – від 30 до 60 кадрів/с; в просторі відеокадрів – не менш ніж 2 М пікселя.

Відповідно зростає інформаційне навантаження на кожний піксель відеознімку. Це зумовлено тим, що існує значна кількість дрібних об'єктів, які описуються обмеженою кількістю пікселів [9, 10]. Тому зростає семантична вага таких пікселів. Інакше, спотворення пікселів призводить до зниження роздільної здатності відеокадру та руйнації інформації про об'єкти відеомоніторингу.

Таким чином, підвищуються вимоги щодо забезпечення потрібного рівня достовірності відеоінформації. Тут під достовірністю розуміється ступінь відповідності реконструйованого на приймальній стороні відеозображення відносно початкового відеозображення, що формується на бортовому комплексі. Відповідно оцінювання рівня достовірності проводиться найчастіше за показником пікового відношення сигнал/шум (PSNR) [11, 12].

З врахуванням критичності впливу якості ВІР в процесі прийняття рішень під час управління об'єктами критичної інфраструктури (КІФ) необхідно забезпечити рівень PSNR не менш ніж 22–30 dB в залежності від насиченості відеокадрів дрібними об'єктами або їх структурними складовими.

**Другий проблемний аспект** криється в наявності дисбалансу між:

- з одного боку означеними темпами значного зростання інформаційної інтенсивності відеоінформаційних потоків;
- з іншого боку помітно відстаючими темпами збільшення пропускної здатності інфокомунікаційних систем на бортових платформах.

Означені проблемні аспекти стримують розвиток дистанційних відеосервісів авіаційного сегменту, та призводять до значної втрати достовірності відеоінформації й виникнення критичних часових затримок [13, 14].

Тому підвищення ефективності надання дистанційних відеосервісів з використанням авіаційного інфокомунікаційного сегменту в процесі підтримки та прийняття рішень в системах критичної інфраструктури є **актуальною науково-прикладною задачею**.

Зрозуміло, що перш за все необхідно здійснювати подальший розвиток бездротових інфокомунікаційних мереж, які мають мобільну платформу базування, в напрямку збільшення їх продуктивності [15, 16]. Однак, як показує аналіз існуючих досліджень [17, 18] напрямок має певні особливості. А саме підвищення швидкості передачі досягається:

- збільшенням частоти імпульсів, але ж це призводить відповідно до зменшення часового інтервалу інформаційного сигналу (імпульсу). Звідси слідує збільшення ймовірності виникнення помилок;
- залученням інших частотних діапазонів. У той же час відповідно це є потенційною причиною для порушення електромагнітної сумісності **бортового радіонавігаційного обладнання з бездротовими пристроями**.

Тому наряду з підвищенням ефективності функціонування бездротових телекомунікаційних технологій потрібно вдосконалити методи виявлення та усунення в інформаційному потоці бітових помилок зумовлених канальними завадами [19, 20].

Відповідно реалізація такого напрямку досягається на основі використання технологій завадостійкого кодування [21, 22]. Особливостями такого кодування є використання надлишкових двійкових розрядів. Саме надмірні біти використовуються для виявлення помилок та корекції пошкоджених кодів. Зрозуміло, що використання надмірних кодів збільшує початковий бітовий об'єм відеокадрів. В залежності від вимог щодо потрібної ймовірності появи помилкового біту початковий бітовий об'єм зростає в декілька разів. Це тягне за собою збільшення часових  $t_{tr}$  затримок в процесі доставки відеоданих. Оцінювання величини  $t_{tr}$  в залежності від ймовірності  $P(e)$  виникнення бітових помилок, швидкості  $S_{tr}$  передачі даних в мережі та величини  $V_{beg}$  представлено у вигляді діаграм на Рис. 1. Для оцінювання вибираються наступні параметри:  $P(e) = 10^{-4}; 10^{-5}; S_{tr} = 20$  Мбіт/с; формат відеока-

дру Full HD (1920×1080), 4K та 8K, бітова здатність пікселя 24 біт/рх.

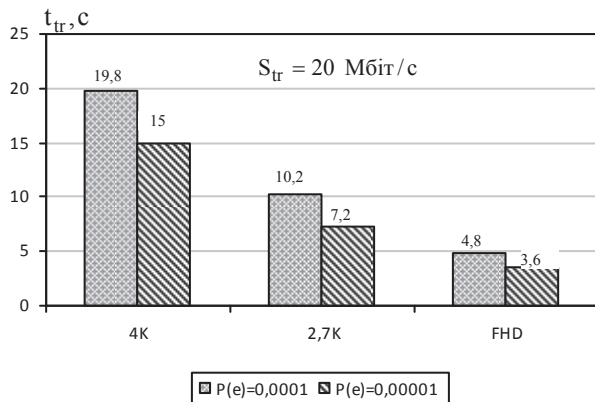


Рис. 1. Діаграма залежності величини  $t_{tr}$  від  $V_{beg}$  та  $P(e)$  для  $S_{tr} = 20$  Мбіт/с

З аналізу наведених на Рис. 1 діаграм можна заключити наступне. Часова затримка в залежності від швидкості  $S_{tr}$  передачі даних в мережі та формату відеокадру знаходиться в діапазоні, який визначається порядком 10 сек. для статичних відеокадрів та до декількох десятків хвилин у разі передачі відеопотоку з частотою 30 кадрів/с. Додаткове завадостійке кодування збільшує таку затримку від 30 до 70%. А саме в залежності від  $P(e)$  величина  $t_{tr}$  становить: від 144 с до 30 хв для  $P(e) = 10^{-4}$ ; від 108 с до 21 хв для  $P(e) = 10^{-5}$ .

Отже можна стверджувати те, що використання завадостійкого кодування в системах передачі інформації з бортових комплексів пов'язано з існуванням **протиріччя**. Це полягає в тому, що:

- з одного боку забезпечуються умови для підвищення достовірності відеоінформації на приймальній стороні;
- з іншого боку підвищується інформаційне навантаження на бортові телекомунікаційні технології, що призведе до втрати оперативності доставки відеоінформації та рівня її достовірності.

Тому для вирішення означеного протиріччя додатково необхідно застосовувати технології зменшення бітової інтенсивності відеопотоку. Це дозволить зменшити інформаційне навантаження на мережу та створити умови для залучення надлишкових кодових конструкцій. Відповідно до цього необхідно для бортових комплексів проводити інтеграцію технологій компресії відеоданих [23, 24].

Таким чином, **мета досліджень статті** полягає у розробці методів компресії відеоданих на бортових комплексах для підвищення оперативності та достовірності їх доставки.

## 1 Обґрунтування напрямку для вдосконалення технологій компресії аерофотознімків

Існуючі методи стиснення умовно поділяють на два класи [25, 26]. Перший клас складають базові технології кодування. Вони застосовуються як складові комплексних процесів обробки відеокадрів [27]. В цьому випадку переважним чином скорочується кількість надмірності одного виду. Це може бути статистична надмірність або структурна. Відповідно дані види надмірності враховуються в процесі кодування з використанням методів Хаффмана, арифметичного кодування та методів кодування довжин серій однакових елементів [28, 29]. Недоліком цих методів є те, що вони забезпечують низький рівень зменшення бітового об'єму відеокадру та стійкість до каналних завад [31, 32].

Для виправлення цього недоліку використовують комплексні технології стиснення (методи другого класу). Вони мають наступні особливості [34, 35]:

- 1) додатково на різних ланках процесу обробки відеокадру враховується наявність психовізуальних особливостей його візуального сприйняття;
- 2) формується проміжне представлення відеосегментів, для якого існують умови для використання базових технологій з більшою ефективністю.

Прикладами таких технологій є методи на базі концепції JPEG. Відповідно комплексні технології обробки дозволяють підвищити рівень стиснення відеокадрів. Однак водночас виникають спотворення ділянок відеозображень. Отже маємо те, що з одного боку створюються умови для можливості використання завадостійких кодів. Така можливість виникає на разі за рахунок зменшення бітового об'єму початкових аерофотознімків. Але з іншого боку саме таке стиснення бітового об'єму супроводжується:

- втратами достовірності відеоінформації [31, 35];
- низькою стійкістю кодових конструкцій стиснутих відеосегментів до руйнівного впливу каналних завад під час їх декодування [33, 34].

Для локалізації даної **суперечності** необхідно розробити такі методи кодування в складі комплексних технологій обробки аерофотознімків, для яких забезпечується:

- додаткове врахування нових видів надмірності, що не пов'язані з виключенням психовізуальної надмірності;
- будовання кодових конструкцій з більшою стійкістю до негативного впливу каналних помилок на процес декодування відеосегментів.

## 2 Розробка методу кодування відеосегментів в спектрально-кластерному просторі

Для усунення недоліків необхідно принципово змінювати фізичні принципи процесу усунення надлишковості компонент трансформанти. Для цього **пропонується** здійснювати структурну кластеризацію спектрального простору трансформанти [23, 24]. Під трансформантою в статті розуміється масив коефіцієнтів при базисних функціях дискретного косинусного перетворення. Трансформанта отримується в результаті двовимірного дискретного косинусного перетворення початкових відеосегментів.

Кластеризацію трансформанти **пропонується** здійснювати в двійковому просторі її компонент. Це створює умови для спрощення процесу оцінювання інформаційних характеристик та формування кодових значень в двійковому просторі. В якості таких інформаційних характеристик **пропонується** використовувати кількість  $\theta$  серій одиниць в двійковому представленні компонент трансформант. Дана характеристика є достатньою для опису структурного змісту двійкового представлення компоненти, в тому числі компонент спектрального простору (трансформанти).

В цьому разі загальний двійковий простір  $\Omega(\ell)$  розбивається на  $\Theta$  структурних кластерів  $\Omega(\ell; \theta)$ , таким чином, що для  $\Omega(\ell; \gamma), \Omega(\ell; \chi) \in \Omega(\ell)$  та  $\gamma \neq \chi$  виконується умова:

$$\Omega(\ell; \gamma) \cap \Omega(\ell; \chi) = \emptyset \quad \text{та} \quad \Omega(\ell) = \bigcup_{\theta=0}^{\Theta-1} \Omega(\ell; \theta). \quad (1)$$

Тут підмножини  $\Omega(\ell; \theta)$  інтерпретуються, як  $\ell$ -бітні перестановки з повтореннями, які містять  $\theta$  серій одиниць;  $\Theta$  – номінальна кількість підмножин  $\Omega(\ell; \theta)$ , яка за ознакою  $\theta$  формується для множини  $\Omega(\ell)$ , та визначається за формулою:

$$\Theta = \left\lfloor \frac{\ell + 1}{2} \right\rfloor + 1. \quad (2)$$

Звідси множина  $\Omega(\ell)$  за обраною структурною ознакою  $\theta$  має наступний кластерний склад:

$$\Omega(\ell) = \bigcup_{\theta=0}^{[(\ell+1)/2]} \Omega(\ell; \theta). \quad (3)$$

Відповідно до цього виразу об'єм  $|\Omega(\ell)|$  множини  $\Omega(\ell)$  будується об'ємами  $|\Omega(\ell; \theta)|$  його структурних кластерів, а саме [33]:

$$|\Omega(\ell)| = \sum_{\theta=0}^{\Theta-1} |\Omega(\ell; \theta)| = \sum_{\theta=0}^{[(\ell+1)/2]} |\Omega(\ell; \theta)|. \quad (4)$$

Тут величина  $|\Omega(\ell; \theta)|$  ознаки  $\theta$  знаходиться, як [33]:

$$|\Omega(\ell; \theta)| = \frac{(\ell + 1)!}{(2 \cdot \theta)! \cdot (\ell + 1 - 2 \cdot \theta)!}. \quad (5)$$

Тоді маємо:

$$2^\ell = \sum_{\theta=0}^{[(\ell+1)/2]} \frac{(\ell + 1)!}{(2 \cdot \theta)! \cdot (\ell + 1 - 2 \cdot \theta)!}. \quad (6)$$

Таким чином, пропонується здійснювати кластеризацію трансформанти  $Y_u$  з врахуванням кількості  $\theta$  серій одиниць в двійковому синтаксичному описі  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$  її компонент  $y_{i,j}^{(u)}$ . Відповідно компоненти, які мають  $\theta$  серій одиниць в своєму двійковому представленні відносяться до структурного кластеру  $Y(\theta)_u$ . В загальному випадку кластеризація трансформанти здійснюється за допомогою функціоналу  $\varphi_{cluster}([y_{i,j}^{(u)}]_2; \theta)$  [33, 34].

Розглянемо процес визначення функціоналу  $\varphi_{cluster}([y_{i,j}^{(u)}]_2; \theta)$  для його використання в процесі кластеризації трансформанти  $Y_u$ . Тут  $Y_u$  – трансформанта, що розташована на  $u$ -й позиції в сегменті. В загальному випадку вона є двовимірним масивом компонент  $y_{i,j}^{(u)}$ , тобто:

$$Y_u = \{y_{i,j}^{(u)}\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n},$$

де  $y_{i,j}^{(u)}$  –  $(i; j)$ -я компонента  $u$ -ї трансформанти;  $n$  – лінійний розмір трансформанти (кількість рядків або кількість стовпців в трансформанті).

З початку приймемо умову стосовно довжин  $\ell(y)_{i,j}^{(u)}$  двійкового опису  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$  компонент  $y_{i,j}^{(u)}$ . Така умова стосується того, що для практичної реалізації процесу обчислень довжина  $\ell(y)_{i,j}^{(u)}$  двійкового опису компонент  $y_{i,j}^{(u)}$  трансформанти  $Y_u$  перед початком кодування обирається рівномірною та такою, що дорівнює  $\ell$  біт, тобто [33, 35]:

$$\ell(y)_{1,1}^{(u)} = \dots = \ell(y)_{i,j}^{(u)} = \dots = \ell(y)_{n,n}^{(u)} = \ell.$$

Можливість використання рівномірної шкали для двійкового опису компонент обґрунтовується тим, що трансформанта отримана після квантування діапазону значень величин  $y_{i,j}^{(u)}$ . В тому числі передбачається корекція значень низькочастотних компонент.

Тоді складовими функціоналу  $\varphi_{cluster}([y_{i,j}^{(u)}]_2; \theta)$  будуть:

- бінаризація компонент  $y_{i,j}^{(u)}$ , тобто формування двійкового опису  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$ ;
- визначення кількості  $\theta$  серій одиниць для  $\ell$ -бітних послідовностей  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$ .

По першій складовій пропонується розробити метод **швидкої бінаризації** компонент  $y_{i,j}^{(u)}$ . Тут приймається до уваги те, що величина  $y_{i,j}^{(u)}$  є десятиковим описом двійкової послідовності  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$ ,

$[y_{i,j}^{(u)}]_2 = \{q(1)_{i,j}; \dots; q(\xi)_{i,j}; \dots; q(\ell)_{i,j}\}$ ,  $q(\xi)_{i,j} \in [0; 1]$ , де  $q(\xi)_{i,j}$  –  $\xi$ -й елемент  $(i; j)$ -ї двійкової послідовності  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$ .

Отже відповідність між величинами  $y_{i,j}^{(u)}$  та  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$  задається наступним виразом:

$$y_{i,j}^{(u)} = \sum_{\xi=1}^{\ell} q(\xi)_{i,j} \cdot 2^{\ell-\xi}.$$

Тому зворотній процес, тобто декодування двійкових елементів  $q(\xi)_{i,j}$  за відомим значенням  $y_{i,j}^{(u)}$ , набуває наступного вигляду:

$$q(\xi)_{i,j} = \left[ \frac{y_{i,j}^{(u)}}{2^{\ell-\xi}} \right] - \left[ \frac{y_{i,j}^{(u)}}{2^{\ell-\xi+1}} \right] \cdot 2.$$

У разі бінарізації компоненти  $y_{i,j}^{(u)}$ , в напрямку починаючи зі старших елементів (елементів, які мають найбільшу вагу) можна отримати рекурентний вираз. Для цього:

– по-перше введемо величину  $y(\xi)_{i,j}^{(u)}$ , яка визначає поточне значення величини  $y_{i,j}^{(u)}$  на  $\xi$ -му кроці декодування двійкових елементів  $q(\xi)_{i,j}$ . Початкове значення такої величини, тобто для  $\xi = 1$ , дорівнює значенню самої компоненти  $y_{i,j}^{(u)}$ ,  $y(1)_{i,j}^{(u)} = y_{i,j}^{(u)}$ . Тоді після декодування першого елемента  $q(1)_{i,j}$  маємо:

$$y(2)_{i,j}^{(u)} = y(1)_{i,j}^{(u)} - q(1)_{i,j} \cdot 2^{\ell-1}.$$

Або в загальному випадку після декодування елемента  $q(\xi-1)_{i,j}$ :

$$y(\xi)_{i,j}^{(u)} = y(\xi-1)_{i,j}^{(u)} - q(\xi-1)_{i,j} \cdot 2^{\ell-\xi+1}; \quad (7)$$

– по-друге будемо враховувати наступну властивість:

$$2^{\ell-\xi} > \sum_{\gamma=1}^{\xi-1} q(\gamma)_{i,j} \cdot 2^{\ell-\gamma} \quad \text{та} \quad \left[ \frac{y(\xi)_{i,j}^{(u)}}{2^{\ell-\xi+1}} \right] = 0.$$

Звідси вираз для декодування елемента  $q(\xi)_{i,j}$  набирає такого вигляду:

$$q(\xi)_{i,j} = \left[ \frac{y(\xi)_{i,j}^{(u)}}{2^{\ell-\xi}} \right].$$

У той же час оскільки елемент  $q(\xi)_{i,j}$  є двійковим, тобто  $q(\xi)_{i,j} \in [0; 1]$ , то для подальшого спрощення отриманого виразу **пропонується** операцію ділення замінити на операцію порівняння величин  $y(\xi)_{i,j}^{(u)}$  та  $2^{\ell-\xi}$ . Тоді декодування елемента  $q(\xi)_{i,j}$  буде задаватись наступною системою:

$$q(\xi)_{i,j} = \begin{cases} 0, & \rightarrow y(\xi)_{i,j}^{(u)} < 2^{\ell-\xi}; \\ 1, & \rightarrow y(\xi)_{i,j}^{(u)} \geq 2^{\ell-\xi}. \end{cases} \quad (8)$$

При цьому для заздалегідь відомого значення  $\ell$  величини  $2^{\ell-\xi}$  можна розрахувати у вигляді таблиці. Тоді для бінарізації компоненти  $y_{i,j}^{(u)}$  з використанням співвідношення (8) потрібно виконати лише  $\ell$  операцій порівняння та  $\ell$  операцій складання. Отже системи виразів (7) та (8) описують метод швидкої бінарізації компонент  $y_{i,j}^{(u)}$  трансформанти.

Для двійкового опису  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$  компоненти  $y_{i,j}^{(u)}$  процес їх кластерізації задається наступним чином (функціонал  $\varphi_{cluster}([y_{i,j}^{(u)}]_2; \theta)$ ):

1) за допомогою функціоналу  $\varphi_{det}([y_{i,j}^{(u)}]_2)$  встановлюється кількість  $\theta$  серій одиниць у двійковому описі  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$  компоненти  $y_{i,j}^{(u)}$ , тобто:

$$\theta = \varphi_{det}([y_{i,j}^{(u)}]_2); \quad (9)$$

2) поточна компонента  $y_{i,j}^{(u)}$  відноситься до структурного кластеру (СК)  $Y(\theta)_u$ , якщо для її двійкового опису виконується рівність (9):

$$y_{i,j}^{(u)} \in Y(\theta)_u \quad \text{та} \quad y_{i,j}^{(u)} \rightarrow y(\theta; g)_{i,j}^{(u)},$$

$$\text{якщо} \quad \theta = \varphi_{det}([y_{i,j}^{(u)}]_2).$$

Тут  $\varphi_{det}([y_{i,j}^{(u)}]_2)$  функціонал виявлення (detection) кількості серій одиниць в двійковому описі  $[y_{i,j}^{(u)}]_2$  компоненти  $y_{i,j}^{(u)}$  трансформанти.

Відповідно розподіл (кластерізація) компонент  $y_{i,j}^{(u)}$  трансформанти за СК здійснюється за структурною ознакою  $\theta$  її двійкового опису, а саме:

$$\varphi_{cluster}([y_{i,j}^{(u)}]_2; \theta) : y_{i,j}^{(u)} \rightarrow y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}, \quad (10)$$

або

$$y(\varphi_{det}([y_{i,j}^{(u)}]_2); g)_{i,j}^{(u)} \in Y(\theta)_u,$$

$$\text{якщо} \quad \varphi_{det}([y_{i,j}^{(u)}]_2) = \theta.$$

Тут  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$  – компонента  $y_{i,j}^{(u)}$  після її кластерізації, тобто після визначення її належності до одного з кластерів  $Y(\theta)_u$ . Отже в свою чергу  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)} \in g$ -м елементом (допустимою двійковою послідовністю  $[y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}]_2$ )  $\theta$ -го структурного кластеру  $Y(\theta)_u$ .

В загальному випадку для конкретної трансформанти  $Y_u$  формується  $\nu_{cluster}^{(u)}$  СК. Кількість  $\nu_{cluster}^{(u)}$  СК для  $u$ -ї трансформанти знаходиться за виразом:

$$\nu_{cluster}^{(u)} = \theta_{\max}^{(u)} - \theta_{\min}^{(u)},$$

де  $\theta_{\min}^{(u)}$ ,  $\theta_{\max}^{(u)}$  – відповідно мінімальне та максимальне (реалістичне) значення кількості серій одиниць, яке існує для  $u$ -ї трансформанти  $Y_u$ .

Зрозуміло, що величина  $\nu_{cluster}^{(u)}$  буде обмежена зверху номінальною кількістю  $\Theta$  СК, тобто:

$$\nu_{cluster}^{(u)} \leq \Theta.$$

Тоді враховуючи те, що СК  $Y(\theta)_u$ ,  $\theta = \overline{\theta_{\min}^{(u)}; \theta_{\max}^{(u)}}$  не перетинаються (згідно з умовами розподілу компонент), тобто:

$$\begin{aligned} Y(\gamma)_u \cap Y(\chi)_u &= \emptyset, \text{ для } \gamma \neq \chi \text{ та} \\ Y(\gamma)_u, Y(\chi)_u &\in Y_u, \end{aligned} \quad (11)$$

то трансформанта  $Y_u$  в кластеризованому вигляді  $Y(\nu_{cluster}^{(u)})$  описується виразом:

$$Y_u \xrightarrow{\varphi_{cluster}([y_{i,j}^{(u)}]_2; \theta)} Y(\nu_{cluster}^{(u)}) = \bigcup_{\theta=\theta_{\min}^{(u)}}^{\theta_{\max}^{(u)}} Y(\theta)_u,$$

або

$$Y(\nu_{cluster}^{(u)}) = \underbrace{\{Y(\theta_{\min}^{(u)})_u; \dots; Y(\theta)_u; \dots; Y(\theta_{\max}^{(u)})_u\}}_{\nu_{cluster}^{(u)}},$$

де  $Y(\theta)_u$  –  $\theta$ -й структурний кластер для  $u$ -ї трансформанти, тобто кластер, який утворюється компонентами  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$ , які в своєму двійковому описі містять кількість серій одиниць, що дорівнює  $\theta$ :

$$Y(\theta)_u = \{y(\theta; 1)_{i,j}^{(u)}; \dots; y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}; \dots; y(\theta; G_\theta)_{i,j}^{(u)}\}.$$

Тут  $G_\theta^{(u)}$  – кількість компонент  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$  з  $u$ -ї трансформанти, які входять до складу  $\theta$ -го структурного кластеру. Величина  $G_\theta^{(u)}$  визначає кількість  $|Y(\theta)_u|$  таких компонент  $u$ -ї трансформанти, які за результатами кластеризації розподілені до  $\theta$ -го структурного кластеру, а саме:

$$G_\theta^{(u)} = |Y(\theta)_u|.$$

Тобто кількість компонент зі складу трансформанти, для двійкового опису  $[y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}]_2$  яких значення структурної ознаки (кількості серій одиниць) дорівнює  $\theta$ :

$$y_{i,j}^{(u)} \in Y_u \rightarrow y(\theta; g)_{i,j}^{(u)} \in Y(\theta)_u,$$

$$\text{якщо } \theta = \varphi_{\det}([y_{i,j}^{(u)}]_2).$$

Зрозуміло, що в загальному випадку серед елементів  $[y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}]_2$  кластеру  $Y(\theta)_u$  існують такі, що мають рівні значення в десятковому описі  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$ , тобто:

$$[y(\theta; \chi)_{i,j}^{(u)}]_2, [y(\theta; \gamma)_{i,j}^{(u)}]_2 \in Y(\theta)_u \text{ та}$$

$$y(\theta; \chi)_{i,j}^{(u)} = y(\theta; \gamma)_{i,j}^{(u)}.$$

Кількість однакових значень компонент  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$  у відповідному структурному кластері  $Y(\theta)_u$  позначається, як **частість**  $\nu(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$  появи компоненти в  $\theta$ -му СК.

Величина  $G_\theta^{(u)}$  позначається, як об'єм кластеру  $Y(\theta)_u$ . Максимальна кількість  $\theta_{\max}$  структурних кластерів  $Y(\theta)_u$  позначається, як **номінальна кількість** СК, та визначається кількістю  $\Theta$  можливих значень, яке приймає структурна ознака  $\theta$ ,  $\theta_{\max} = \Theta = \left[\frac{\ell+1}{2}\right] + 1$ .

Після кластеризації трансформанти здійснюється по-елементне статистичне кодування. Таке кодування **пропонується** організувати для компонент  $y(\theta; g)_{i,j}^{(u)}$  в межах окремих СК  $Y(\theta)_u$ .

Відповідно статистична модель, тобто закон  $P'(\theta)_u$  розподілу ймовірностей  $p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$  появи компонент  $y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$  формується в межах окремого  $\theta$ -го структурного кластеру, а саме:

$$P'(\theta)_u = \{p'(\theta; 1)_{i,j}^{(u)}; \dots; p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}; \dots; p'(\theta; D_\theta^{(u)})_{i,j}^{(u)}\}.$$

Тут  $D_\theta^{(u)}$  – реалістична потужність  $\theta$ -го структурного кластеру  $u$ -ї трансформанти, тобто кількість компонент  $y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$ , двійкове представлення  $[y(\theta; d)_{i,j}^{(u)}]_2$  яких належать до кластеру  $Y(\theta)_u$ :

$$y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)} \in Y(\theta)_u, \quad d = 1, D_\theta^{(u)},$$

та мають різні значення в десятковому описі, тобто:

$$y'(\theta; \gamma)_{i,j}^{(u)} \neq y'(\theta; \chi)_{i,j}^{(u)}, \quad \gamma, \chi = 1, D_\theta^{(u)}.$$

Такі компоненти  $y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$  утворюють підмножину  $Y'(\theta)_u$ , яка в свою чергу входить до множини  $Y(\theta)_u$ , тобто:

$$y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)} \in Y'(\theta)_u, \quad \text{де } Y'(\theta)_u \in Y(\theta)_u.$$

Крім того, згідно особливостей формування підмножини  $Y'(\theta)_u$ , виконується наступна умова:

$$Y'(\theta)_u = Y'(\theta)_u \cap Y(\theta)_u.$$

В загальному випадку значення потужності  $D_\theta^{(u)}$  структурного кластеру  $Y(\theta)_u$  не буде перевищувати його об'єм  $G_\theta^{(u)}$ , тобто:

$$D_\theta^{(u)} \leq G_\theta^{(u)}. \quad (12)$$

Для відомих значень  $D_\theta^{(u)}$  та  $\{\nu(\theta; d)_{i,j}^{(u)}\}$ ,  $d = 1, D_\theta^{(u)}$  загальна кількість  $G_\theta^{(u)}$  компонент в  $\theta$ -му СК знаходиться за допомогою формули:

$$G_\theta^{(u)} = \sum_{d=1}^{D_\theta^{(u)}} \nu(\theta; d)_{i,j}^{(u)}.$$

Зрозуміло, що буде виконуватись нерівність:

$$D_\theta^{(u)} \leq D^{(u)}, \quad (13)$$

де  $D^{(u)}$  – потужність поточної трансформанти  $Y_u$ .

Виконання такої нерівності обумовлено тим, що загальна потужність  $D^{(u)}$  трансформанти складається з потужностей  $D_{\theta}^{(u)}$  за всіма множинами  $Y'(\theta)_u$ ,  $\theta = \overline{\theta_{\min}^{(u)}; \theta_{\max}^{(u)}}$ :

$$D^{(u)} = \sum_{\theta=\theta_{\min}^{(u)}}^{\theta_{\max}^{(u)}} D_{\theta}^{(u)}.$$

Звідси для ймовірностей  $p'(d)_{i,j}^{(u)}$  та  $p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$  для  $d$ -ї компоненти у разі коли вона розглядається відповідно в межах трансформанти  $Y_u$ , тобто як  $y'(d)_{i,j}^{(u)}$  та структурного кластеру  $Y(\theta)_u$ , тобто як  $y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$ , виконується наступне співвідношення:

$$p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)} \geq p'(d)_{i,j}^{(u)}. \quad (14)$$

*Дійсно.* Частість появи  $(i; j)$ -ї компоненти в процесі кластеризації трансформанти не змінюється та буде дорівнювати величині  $\nu(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$ . Водночас кількість  $G_{\theta}^{(u)}$  компонент в  $\theta$ -му в структурному кластері не буде перевищувати загальну кількість  $n^2$  компонент в трансформанті, тобто:

$$G_{\theta}^{(u)} \leq n^2. \quad (15)$$

Тут знак рівняння між  $G_{\theta}^{(u)}$  та  $n^2$  буде лише у випадку, коли для поточної трансформанти утворюється тільки один структурний кластер, тобто  $Y_u \rightarrow Y(\nu_{cluster}^{(u)}) = Y(\theta)_u$ . Тоді з врахуванням виразів  $p'(d)_{i,j}^{(u)} = \nu(\theta; d)_{i,j}^{(u)} / n^2$  та  $p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)} = \nu(\theta; d)_{i,j}^{(u)} / G_{\theta}^{(u)}$  для знаходження означених ймовірностей можна стверджувати те, що нерівність (14) виконується.

Звідси структурний кластер  $Y(\theta)_u$  буде менш інформативним з позиції врахування статистичних закономірностей, ніж поточна трансформанта  $Y_u$ , тобто між відповідними значеннями ентропії  $H(\theta)_u$  та  $H_u$  виконується співвідношення:

$$H(\theta)_u \leq H_u. \quad (16)$$

В наведеній нерівності величини  $H(\theta)_u$  та  $H_u$  означають значення ентропії (середня кількість інформації, яка міститься в одній компоненті, з врахуванням ймовірнісних залежностей) відповідно для розподілів  $P'(\theta)_u$  та  $P'_u$  ймовірностей появи компонент в СК та трансформанті. Для їх знаходження застосовуються наступні вирази:

$$H(\theta)_u = - \sum_{d=1}^{D_{\theta}^{(u)}} p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)} \cdot \log_2 p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)};$$

$$H_u = - \sum_{d=1}^{D^{(u)}} p'(d)_{i,j}^{(u)} \cdot \log_2 p'(d)_{i,j}^{(u)}.$$

З аналізу даного виразу слідує те, що структурний кластер має більшу кількість  $R(\theta)_u$  статистичної надмірності щодо кількості  $R_u$  статистичної

надмірності трансформанти, яку потенційно можна усунути в процесі кодування. Тому виконується нерівність:

$$R(\theta)_u \geq R_u.$$

Співвідношення (16) ґрунтується на таких аспектах:

– по-перше на тому, що нерівність (14) виконується для ймовірностей  $p'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$  всіх компонент  $y'(\theta; d)_{i,j}^{(u)}$ ,  $d = 1, \overline{D_{\theta}^{(u)}}$   $\theta$ -го СК;

– по-друге на тому, що потужність  $D_{\theta}^{(u)}$  для  $\theta$ -го СК не перевищує потужність  $D^{(u)}$  трансформанти,  $D_{\theta}^{(u)} \leq D^{(u)}$ .

Отже для статистичного кодування компонент в **спектрально-кластерному** просторі досягаються переваги відносно випадку формування статистичної моделі та кодування поточних трансформант. Такі переваги стосуються:

1. Досягнення умов щодо підвищення рівня нерівномірності розподілу кластеризованих компонент, зменшення потужності кластерів.
2. Збільшення кількості статистичної надмірності, яку можна скоротити в процесі кодування компонент структурних кластерів.
3. Створення умов для скорочення довжини кодограм кластеризованих компонент відносно довжин їх кодограм у разі обробки в складі всієї трансформанти.

### 3 Порівняльне оцінювання характеристик методів кодування відеосегментів в спектральному просторі

Порівняльне оцінювання достовірності відеозображень при заданому рівні помилок ( $P(e) = 10^{-5}$ ) в каналах передачі даних з бортових комплексів проводиться за показником пікового відношення сигнал/шум PSNR (Рис. 2). Відповідно порівняння створеного та існуючих методів за коефіцієнтом  $K_{ст}$  стиснення наводиться у вигляді діаграм на Рис. 3. Таке порівняння проводиться за умов отриманих значень PSNR в залежності від рівня насиченості відеознімків. Для порівняння використовуються розроблений метод (PM) кодування трансформант в кластерному просторі та кодування, яке реалізовано в технології JPEG.

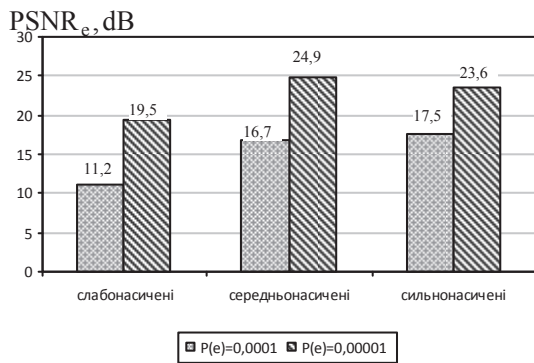


Рис. 2. Діаграма залежності величини PSNR від ступеню насиченості відеозображень

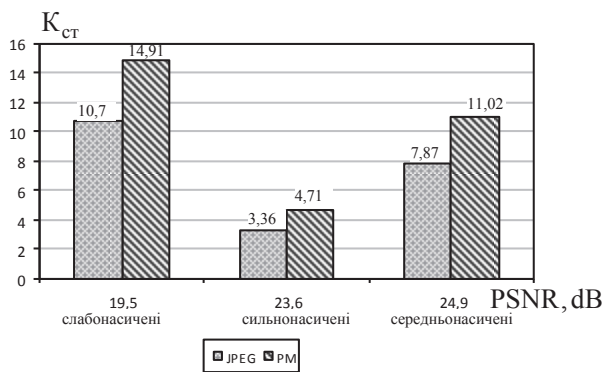


Рис. 3. Діаграма залежності величини  $K_{ст}$  від PSNR для різних методів кодування

З аналізу даних діаграм можна стверджувати наступне:

1. Використання розробленого методу кодування кластеризованих трансформант дозволяє підвищити рівень достовірності аерофотознімків. Для випадку, коли помилка в дискретному симетричному каналі передачі даних без пам'яті задається значенням  $P(e) = 10^{-5}$  підвищення рівня достовірності відеозображень за показником пікового відношення сигнал/шум сягає 50%.

2. Підвищення рівня достовірності забезпечується у разі використання розробленого методу для відеозображень з різним ступенем насиченості дрібними об'єктами.

3. Використання розробленого методу, за умови забезпечення рівня PSNR не менш ніж 22–30 dB, забезпечує збільшення рівня стиснення в середньому на 13,5%.

## Висновки

1. Обґрунтовано переваги кластеризації відеосегментів в спектральному просторі за структурною ознакою – кількістю серій одиниць в двійковому описі їх компонент. Дана характеристика є достатньою для опису структурного змісту двійкового представлення компоненти, в тому числі компонент спектрального простору (трансформанти).

2. Розроблено метод статистичного кодування трансформанти в структурному просторі. Базовою складовою тут є встановлення статистичних залежностей в межах структурних кластерів з врахуванням:

- локальних особливостей спектральних компонент за їх діапазоном на основі структурних ознак в їх двійковому описі;

- зменшеної потужності статистичного простору та збільшення рівня нерівномірності розподілу кластеризованих компонент трансформанти.

Це дозволяє:

1) збільшити кількість статистичної надмірності, яку потенційно можна скоротити в процесі кодування компонент. Таке досягається за рахунок створення умов щодо підвищення рівня нерівномірності розподілу кластеризованих компонент;

2) організувати одночасне незалежне кодування та декодування компонент, які належать різним структурним кластерам;

3) створити умови щодо можливості підвищення стійкості нерівномірно-префіксних (НП) кодограм до деструктивної дії каналних помилок. Наприклад, шляхом локалізації пошкоджених каналними завадами кодограм в межах окремого структурного кластеру.

3. На основі проведених експериментальних досліджень показано те, що використання створеного методу кодування кластеризованих трансформант дозволяє:

1) підвищити рівень достовірності аерофотознімків за показником пікового відношення сигнал/шум в середньому на 50%;

2) підвищити рівень стиснення аерофотознімків за умови заданого PSNR в середньому на 13,5%.

### Наукова новизна.

Удосконалено метод кодування трансформованих відеосегментів на основі усунення статистичної надмірності. Основні відмінності створеного методу полягають у наступному:

- здійснюється попередня кластеризація трансформанти за характеристикою структурного змісту двійкового опису їх компонент, а саме з врахуванням кількості серій одиниць;

- статистичні характеристики спектральних компонент визначаються в межах окремих кластерів.



Це створює умови для: зменшення бітового об'єму трансформанти; одночасного кодування та декодування компонент різних кластерів; локалізації руйнівної дії помилок під час декодування пошкоджених каналними завадами НП кодограм.

## References

- [1] JPEG Privacy & Security Abstract and Executive Summary, 2015. *JPEG.org*, accessed 7.04.2021.
- [2] Barannik, V., Sidchenko S., Barannik N., Barannik V. (2021). Development of the method for encoding service data in cryptocompression image representation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 9(111), pp. 103-115. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235521.
- [3] DSTU 7624:2014: Information Technology. Cryptographic protection of information. Symmetric block transformation algorithm [DSTU 7624:2014: Informatsiini tekhnolohii. Kryptohrafichnyi zakhyst informatsii. Alhorytm symetrychnoho blokovocho peretvorennia]. Ministry of Economic Development of Ukraine, 2015. 39 p. [In Ukrainian].
- [4] Data Encryption Standard (DES), Federal Information Processing Standards Publication 46-3, 1999. 26 p.
- [5] DSTU GOST 28147:2009: Information processing system. Cryptographic protection. Cryptographic transformation algorithm (GOST 28147-89) [DSTU GOST 28147:2009: Systema obrobky informatsii. Zakhyst kryptohrafichnyi. Alhorytm kryptohrafichnoho peretvorennia (HOST 28147-89)], State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy (Derzhspozhivstandart) of Ukraine, 2008. 20 p. [In Ukrainian].
- [6] Rivest, R., Shamir, A., Adleman, L. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, Vol. 21, Iss. 2, pp. 120-126. DOI: 10.1145/359340.359342.
- [7] Chen, T.-H., Wu, Ch.-S. (2011). Efficient multi-secret image sharing based on Boolean operation. *Signal Processing*, Vol. 91, Iss. 1, pp. 90-97. DOI: 10.1016/j.sigpro.2010.06.012.
- [8] Barannik, V., Shulgina, S., Krasnorutsky, A., Slobodyanyuk, O., Gurzhii, P., Korolyova, N. (2020). Methodological Fundamentals of Deciphering Coding of Aerophotography Segments on Special Equipment of Unmanned Complex. *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*, pp. 38-43. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349257.
- [9] Li, F., Krivenko, S., Lukin, V. (2020). Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT. *Radioelectronic and computer systems*, No. 2(94), pp. 22-32. DOI: 10.32620/reks.2020.2.02.
- [10] Ji, Sh., Tong, X., Zhang, M. (2012). Image encryption schemes for JPEG and GIF formats based on 3D baker with compound chaotic sequence generator. *Cornell University arXiv*. doi: 10.48550/arXiv.1208.0999.
- [11] Belikova N., Lekakh A., Dovbenko O., Dodukh O. (2019). Method of Increasing the Capacity of Information Threat Detection Filters in Modern Information and Communication Systems. *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, pp. 426-429. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847754.
- [12] Naor, M., Shamir, A. (1994). Visual Cryptography. *Proceedings of the Advances in Cryptology. EUROCRYPT'94. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 950, pp. 1-12. DOI: 10.1007/bfb0053419.
- [13] Wu, Yu., Agaian, S., Noonan, J. (2012). Sudoku Associated Two Dimensional Bijections for Image Scrambling. *IEEE Transactions on multimedia*, available at: Cornell University arXiv, 30 p. doi: 10.48550/arXiv.1207.5856.
- [14] Tsai, Ch.-L., Chen, Ch.-J., Hsu, W.-L. (2012). Multimorphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, pp. 135-139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
- [15] Wong K. W. (2009). Image encryption using chaotic maps. In: Kocarev, L., Galias, Z., Lian, S. (eds) *Intelligent Computing Based on Chaos*, Studies in Computational Intelligence, Vol. 184, pp. 333-354, Springer. DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4\_16.
- [16] Cheng, P., Yang, H., Wei, P., Zhang, W. (2015). A fast image encryption algorithm based on chaotic map and lookup table. *Nonlinear Dynamics*, Vol. 79, Iss. 3, pp. 2121-2131. DOI: 10.1007/s11071-014-1798-y.
- [17] Guesmi, R., Farah, M. A. B., Kachouri, A., Samet, M. (2016). A novel chaos-based image encryption using DNA sequence operation and Secure Hash Algorithm SHA-2. *Nonlinear Dynamics*, Vol. 83, Iss. 3, pp. 1123-1136. DOI: 10.1007/s11071-015-2392-7.
- [18] Kurihara, K., Watanabe O., Kiya, H. (2016). An encryption-then-compression system for JPEG XR standard. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp. 1-5. DOI: 10.1109/BMSB.2016.7521997.
- [19] Sharma, R., Bollavarapu, S. (2015). Data Security using Compression and Cryptography Techniques. *International Journal of Computer Applications*, Vol. 117, No. 14, pp. 15-18. DOI: 10.5120/20621-3342.
- [20] Zhou, J., Liu, X., Au, O. C., Tang, Y. Y. (2014). Designing an Efficient Image Encryption-Then-Compression System via Prediction Error Clustering and Random Permutation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 9, No. 1, pp. 39-50. DOI: 10.1109/TIFS.2013.2291625.
- [21] Dufaux, F., Ebrahimi, T. (2006). Toward a Secure JPEG. *Applications of Digital Image Processing XXIX*, Vol. 6312, pp. 1-8. DOI: 10.1117/12.686963.
- [22] Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000, International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T.807, 2007. 108 p.
- [23] Wu, Y., Noonan, J. P., Agaian, S. (2011). NPCR and UACI Randomness Tests for Image Encryption. *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT)*, Vol. 2, pp. 31-38. DOI: 10.4236/jss.2015.33005.
- [24] Farajallah, M. (2015). Chaos-based crypto and joint crypto-compression systems for images and videos. *HAL science ouverte*.
- [25] Wong, K., Tanaka, K. (2010). DCT based scalable scrambling method with reversible data hiding functionality. *4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ISCCSP.2010.5463307.

- [26] Yang, Y., Zhu, B., Li, S., Yu, N. (2008). Efficient and Syntax-Compliant JPEG 2000 Encryption Preserving Original Fine Granularity of Scalability. *EURASIP Journal on Information Security*, Vol. 2007, pp. 126-139. DOI: 10.1155/2007/56365.
- [27] Watanabe, O., Uchida, A., Fukuhara, T., Kiya, H. (2015). An Encryption-then-Compression system for JPEG 2000 standard. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 1226-1230, DOI: 10.1109/ICASSP.2015.7178165.
- [28] Minemura, K., Moayed, Z., Wong, K., Qi, X., Tanaka, K. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. *19th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 261-264. DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466845.
- [29] Phatak, A. A. (2016). Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, Vol. 8, No. 6, pp. 64-71. DOI: 10.5815/ijigsp.2016.06.08.
- [30] Belikova, T. (2020). Decoding Method of Information-Psychological Destructions in the Phonetic Space of Information Resources. *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*, pp. 87-91. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349300.
- [31] Komolov, D., Zhurbynskyy, D., Kulitsa, O. (2015). Selective Method For Hiding Of Video Information Resource In Telecommunication Systems Based On Encryption Of Energy-Significant Blocks Of Reference I-Frame. *1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2015)*, pp. 80-83.
- [32] Rippel O. and Bourdev L. (2017). Real-Time Adaptive Image Compression. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*, Vol. 70, pages 2922-2930.
- [33] Barannyk, V. V. and Khakhanova, A. V. (2008). Estimation of informing of binary arrays on the basis of combinatory approach [Otsinka informatyvnosti dviikovykh masyviv na osnovi kombinatornoho pidkhotu]. *Information Processing Systems [Systemy obrobky informatsiyi]*, Vol. 6(73), pp. 11-13. [In Rus.]
- [34] Barannik, V., Krasnorutsky, A., Ryabukha, Y., Onyshchenko, R., Shulgin, S., Slobodyanyuk, O. (2021). Marker Information Coding for Structural Clustering of Spectral Space. *IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT 2021)*, pp. 46-51. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678538.
- [35] Barannik, V., Krasnorutsky, A., Pasynchuk, K., Babenko, Yu., Stepanko, O., Tuputsa, I. (2022). A Method for Restructuring Video Data in Compressed Coding Systems to Increase Reliability. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radio-tekhnika Radioaparotobuduvannia*, Vol. 88, pp. 50-59. DOI: 10.20535/RADAP.2022.88.50-59.

## A Method of Coding Video Segments in Spectral-Cluster Space with Detection of Structural Features

*Barannik V. V., Krasnorutsky A. O., Kolesnyk V. O., Pchelnykov S. I., Babenko Yu. M., Sheigas O. M.*

The directions for improving the efficiency of providing remote video services using the aviation information segment in the process of support and decision-making in critical infrastructure systems are substantiated. It is justified that in order to localize or eliminate problematic aspects, it is necessary to apply technologies for reducing the bit intensity of the video stream. This will reduce the information load on the network and create conditions for the involvement of redundant code structures. Accordingly, it is necessary to integrate video data compression technologies for on-board systems. The effectiveness of clustering video segments in spectral space based on the structural feature of the number of series of units in the binary description of their components is substantiated. A method of statistical coding of transformants in structural space has been developed. The basic component here is the establishment of statistical dependencies within structural clusters, taking into account: local features of spectral components in their range based on structural features in their binary description; reduced power of the statistical space and increase the level of uneven distribution of the clustered components of the transformant. On the basis of the conducted experimental studies, it is shown that the use of the created method of encoding clustered transformants allows to increase the level of reliability of aerial photographs by the indicator of the peak signal/noise ratio by an average of 50%.

*Keywords:* aerial photographs; video data compression; information reliability; structural clustering; coding in spectral-cluster space; statistical redundancy