

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## МЕТОД СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГІВ ВІДЕОДАНИХ АЕРОФОТОЗНІМКІВ ІЗ ЗАДАНОЮ ЯКІСТЮ ДОСТОВІРНОСТІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЇ З БОРТУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Обґрунтовано скорочення обсягів відеоданих для підвищення продуктивності обробки та передачі аерофотознімків з борту безпілотного літального апарату з заданою якістю достовірності. Запропоновано підхід для побудови технології компресії аерофотознімків з використанням попереднього перетворення, який базується на формуванні двох складових: вектору значущих компонент та вектору масштабуючих компонент.

**Ключові слова:** стиснення відеоданих, оперативність, динамічний діапазон, JPEG.

**Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Останнім часом при веденні сучасних війн не обходиться без застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА), це в свою чергу обумовлено стрімким розвитком інфокомунікаційних технологій передачі даних. Одним із головних завдань застосування БпЛА є ведення повітряної розвідки на ворожій території, тому швидкість доставки видової інформації (аерофотознімків) з борту БпЛА до наземного пункту є дуже актуальним для своєчасного прийняття рішення керівним складом. Оперативність управління інформацією з використанням безпілотних літальних апаратів залежить від часових витрат на обробку, передачу та дешифрування аерофотознімку.

Вихідні кадри аерофотознімку формуються при використанні JPEG орієнтованих технологій, тому зі збільшенням об'єму відеоданих аерофотознімків часові затримки різко збільшуються. Звідси виникає необхідність в розробці інформаційної технології щодо обробки відеоданих аерофотознімків для підвищення оперативності доставки інформації в умовах забезпечення заданої якості достовірності.

**Метою дослідження** є зниження обсягів відеоданих та забезпечується підвищення продуктивності функціонування інфокомунікаційних бортових систем БпЛА із заданою якістю достовірності.

**Виклад основного матеріалу.** Ефективне функціонування бортових інфокомунікаційних систем визначається якістю передачі та обробки відеоданих аерофотознімків і оцінюється таким показником як продуктивність, що задається формулою

$$R_t = Q(f_t) / T_{\Sigma} \quad (1)$$

де  $T_{\Sigma}$  – загальний час обробки та передачі відеоданих аерофотознімків обсягом  $Q(f_t)$ .

Для передачі відеопотоку чи аерофотознімків, з БпЛА на пункт обробки інформації використовується односторонній високошвидкісний канал передачі даних. Передача інформації здійснюється за допомогою широкого набору бортових передавальних пристроїв, представлених у табл. 1, працюючих у діапазоні НВЧ, на частотах: 2,4 МГц; 5,8 ГГц; 10 ГГц; 14 ГГц; 28 ГГц [2].

Таблиця 1. – Характеристики цифрових радіоліній БПЛА

Апаратура зв'язку	Частотний діапазон радіолінії	Тип	Параметри
Високошвидкісна симплексна система передачі інформації	2,4–2,4835 ГГц	Цифрова (передача даних корисного навантаження)	Швидкість передачі даних – 20 Мбіт/с; смуга займаних частот – 5–20 МГц; дальність по прямій видимості – 30 км.
Низькошвидкісна напівдуплексна система передачі інформації	2,4–2,4835 ГГц	Цифрова (передача командно-телеметричних даних)	Швидкість передачі даних – 115,2–256 Кбіт/с;

Існуючі радіолінії зв'язку характеризуються обмеженою пропускнуою здатністю для обміну інформацією між бортовим комплексом БПЛА та наземним пунктом [2-3].

Структура відеопотоку аерофотознімку залежить від:

розміру аерофотознімку, визначається як добуток кількості рядків  $M$  на кількість стовпців  $N$ , тобто  $M \times N$ . Дані по розмірах аерофотознімку та частоти кадрів представлені в табл. 2.

глибина кольору  $\phi$  або розрядність, визначає, скільки відтінків кольору доступно у палітрі зображення на один піксель;

частота  $V_n(f_t)$  появи кадрів аерофотознімків за одиницю часу, тобто за 1с.

Таблиця 2. – Середня швидкість передачі відеопотоку аерофотознімку залежно від розміру за одиницю часу

Формат відеоданих розміром зображення $M \times N$	Частота кадрів/с	Середній об'єм відеоданих $Q_n(f_t)$ Мбіт/с
CIF 352×288	24; 30	60
SD 720×576	30	300
ED 720×576	50	500
HD 1280×720	50	1105
Full HD 1920×1080	30; 50	2500

Об'єм відеопотоку аерофотознімків рис.1 з частотою  $f_t$  кадрів/с визначається як:

$$Q(f_t) = f_t \times M \times N \times \phi \quad (2)$$

де  $Q(f_t)$  - об'єм відео потоку аерофотознімків за 1 с з частотою  $f_t$  кадрів/с.

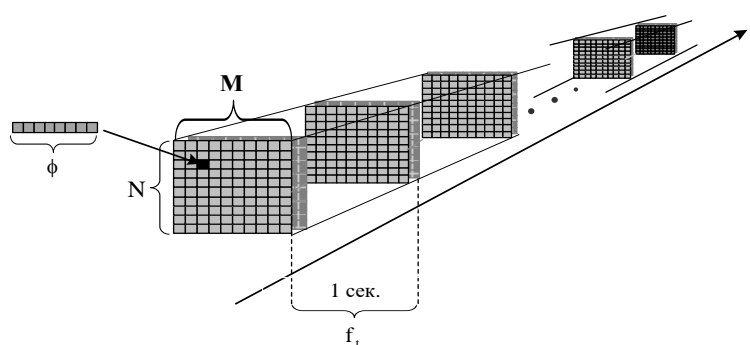


Рис.1 Структура відеопотоку аерофотознімків

За даними таблиці. 1 на рис. 1 у вигляді діаграми представлені об'єми відеоданих аерофотознімків для кожного формату зображення [5].

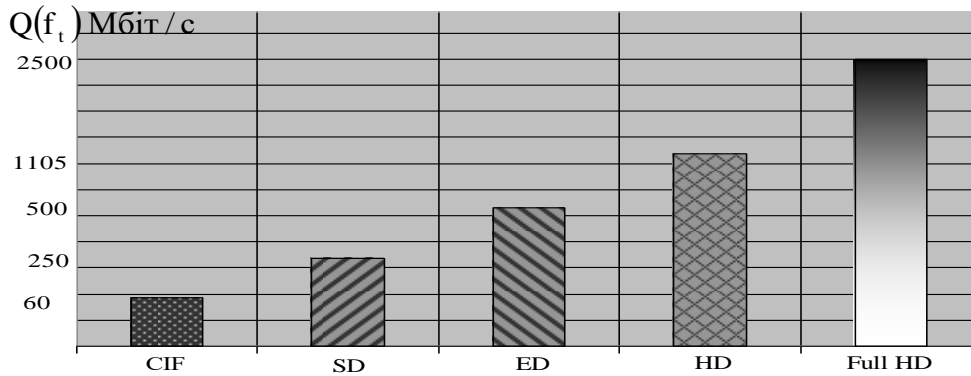


Рис. 2. Середній об'єм передачі відеопотоку за 1с залежно від якості аерофотознімку

З аналізу таблиці 1 та рис. 2 витікає, що:

найменший об'єм нестислого потоку аерофотознімків потрібно для зображень формату CIF в середньому від 30 Мбіт/с до 60 Мбіт/с;

найбільші об'єми нестислого потоку відеоданих аерофотознімків досягаються для форматів HD і Full HD в середньому від 1,5 Гбіт/с до 2,5 Гбіт/с.

Проведемо оцінку часу  $T_{\Pi}$  передачі нестислих кадрів аерофотознімків залежно від швидкості для  $f_t = 1$  рис. 3.

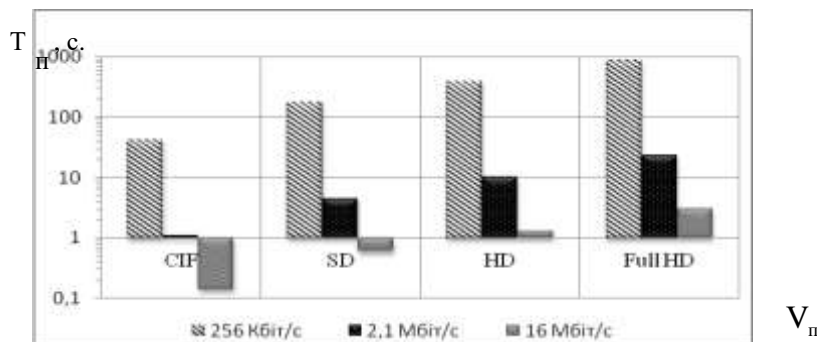


Рис. 3. Оцінка часу передачі нестислих відеоданих аерофотознімків

Аналіз діаграм на рис. 3 показав, що час передачі нестислих відеоданих аерофотознімків досягає десятки хвилин.

Таким чином, можна заключити, що необхідно підвищувати продуктивність  $R_t$  існуючих бездротових технологій, а саме: необхідно забезпечити виконання співвідношення:

$$R_t \rightarrow \max \quad (3)$$

для заданих обсягів відеоданих, що описується обмеженням

$$(Q)_n \leq (Q) \quad (4)$$

Це можна досягти за рахунок зниження загального часу доставки даних як результат зниження обсягів даних, що передаються.

Причиною тому, що пропускні здібності бездротових телекомунікаційних систем, особливо, які встановлені на борту БПЛА, набагато нижчі, ніж швидкості нестислих

відеоданих. У реальному часі швидкість передачі нестислих відеоданих аерофотознімків здійснюється тільки для невеликих об'ємів таких форматів як CIF, SD [5].

З цього можна зробити висновок, що для передачі відеоданих аерофотознімків у реальному часі з борту БпЛА, вимагається скоротити їх об'єм.

Для скорочення часу доставки потоку відеоінформації використовують технології стискування. Стискування відеоданих відбувається за рахунок застосування ефективного кодування з усунення різного роду надмірності. Перед отриманням даних споживачем відбувається їх відновлення (декомпресія). Схема обробки відеоданих в телекомунікаційних системах представлена на рис. 4.

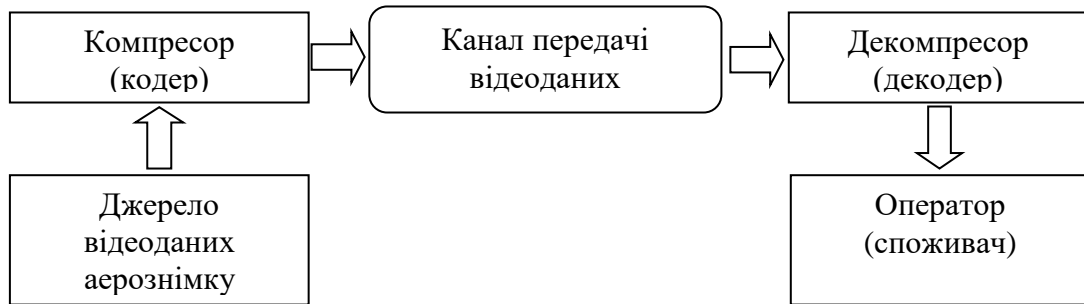


Рис. 4. Загальна структурна схема обробки відеоданих аерофотознімків

На даний момент найбільш поширеною технологією компресії є технологія JPEG [9-10].

Сьогодні JPEG є методом стискування даних реалістичних зображень з глибиною до 24 біт/піксель [1]. На усіх етапах роботи алгоритму відбувається попередня підготовка, перетворення (трансформація) даних зображення до стискування. В результаті такого підходу досягається стискування з коефіцієнтом  $k_{ст}$ , значення якого залежить від насиченості зображень та кроку квантування  $\chi$  (КК) рис.5 [4].

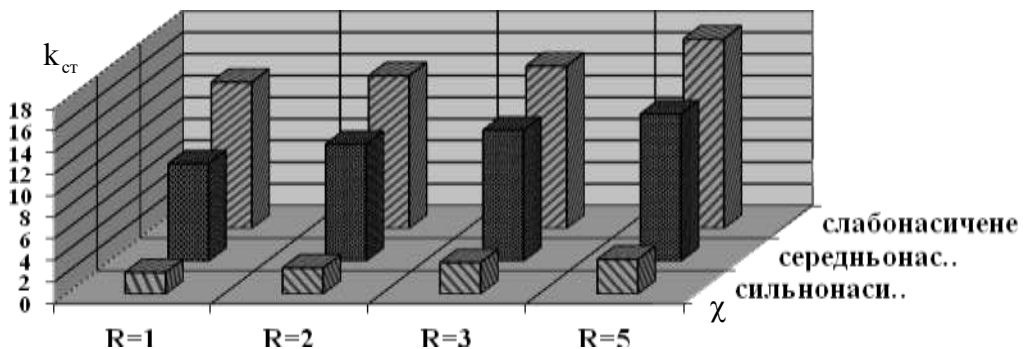


Рис. 5. Значення коефіцієнта стиснення для формату JPEG для різних класів зображення у залежності від кроку квантування

З рис. 5 слідує що:

для усіх класів зображень зі збільшенням рівня квантування, значення коефіцієнта стискування  $k_{ст}$  збільшуються в середньому від 2 до 17,5 разів;

для сильнонасичених зображень значення коефіцієнта стискування найменші в середньому від 2 до 3,2 разів, для слабонасичених зображень значення  $k_{ст}$  найбільші в середньому від 13,5 до 17,5 разів.

Таким чином, зниження обсягів відеоданих для підвищення продуктивності функціонування інфокомунікаційних бортових систем із заданою якістю достовірності є актуальною науково-прикладною задачею.

Сформульовану задачу пропонується вирішувати на базі розвитку технології стиснення, з подальшою інтеграцією в інфокомунікаційні бортові системи. Одним з найбільш розповсюджених та популярних методів стиснення є метод JPEG, основні етапи роботи якого показані на рис.6 [4].

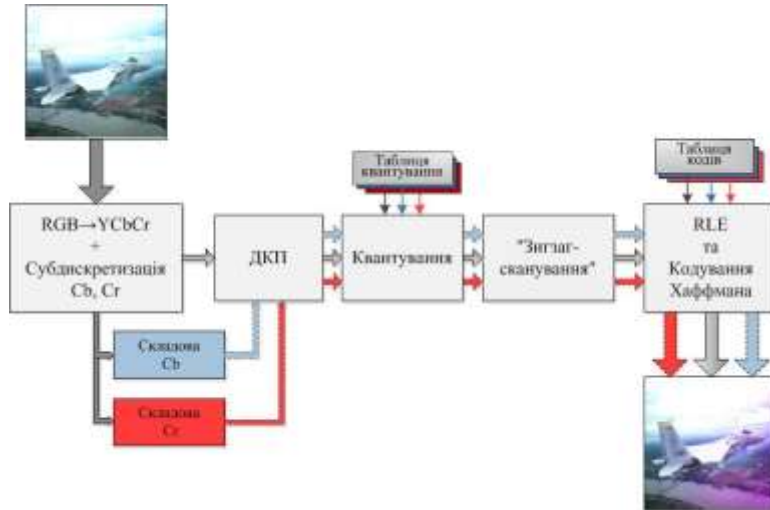


Рис.6 Блок-схема роботи алгоритму стиснення у JPEG

Аналіз компресійних характеристик методу JPEG виявив, що передача відеоданих у реальному часі можлива тільки в режимі значних втрат якості.

Для вдосконалення технології JPEG, пропонується використовувати підхід, заснований на обробці компонентного представлення блоків 8×8 пікселів над якими відбулося дискретно-косинусне перетворення (ДКП). Це дозволить враховувати такі закономірності як: переконцентрація енергії; наявність ланцюжків нульових елементів. У той же час, існуючі підходи пов'язані з такими недоліками як: в одному випадку - це додаткова передача динамічних таблиць статистичних кодів, а в другому випадку - це низька адаптивність стаціонарних статистичних таблиць до змінних характеристик зображення. Звідси виникає необхідність у розробці методу кодування відеоданих аерофотознімків на основі компонентної структури перетвореного блоку 8×8 для зниження їх обсягів у інфокомунікаційних бортових системах.

Таким чином, пропонується з двовимірного представлення  $H_{\tau}^{(2)}$  за допомогою лінійної лінеаризації, опускаючись згори донизу, переводиться в одновимірний вектор  $H_{\tau}^{(1)}$ , що представлено на рис. 7.

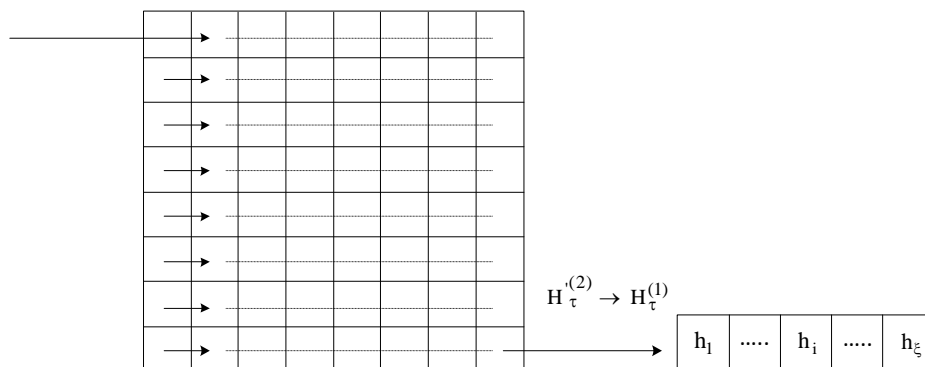


Рис. 7. Процес лінеаризації сегменту відеокадру

У такому векторі інформація про зображення розподілена рівномірно між усіма компонентами.

Потім з одновимірного вектору  $H_{\tau}^{(1)}$ , що утворився, формуються два вектори:

вектор  $\hat{H}_{\tau}$  значущих компонент;

вектор  $G(H)_{\tau}$  масштабуючих компонент [7].

Процес формування векторів, представлений на рис. 8.

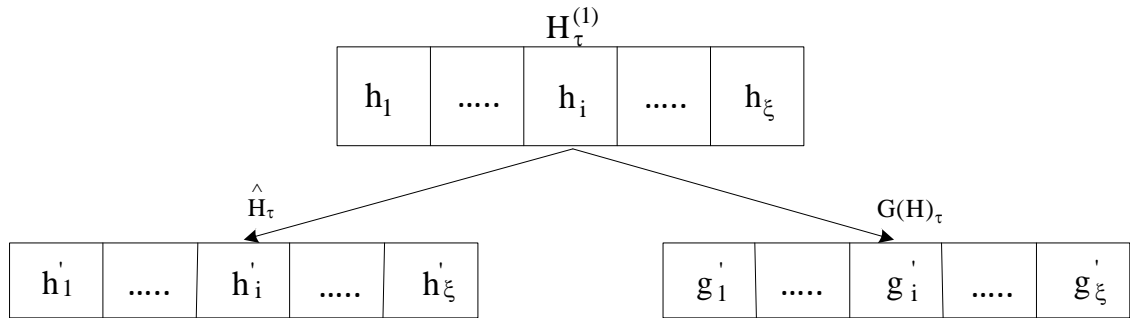


Рис. 8 Формування векторів значущих і масштабуючих компонент

Таким чином, вектор  $H_{\tau}^{(1)}$  сегменту відеокадру можна представити як:

$$H_{\tau}^{(1)} = \{ \hat{H}_{\tau} ; G(H)_{\tau} \} \quad (5)$$

Такий підхід дозволяє виключити сусідні однакові компоненти в сегменті відеокадру. Тут вектор  $G(H)_{\tau}$  пропонується називати вектором масштабуючих компонент, компоненти цього вектору визначають довжину значущих компонент [6].

**Опис значущих компонент сегменту відеокадру, оцінка їх інформативності**

Після процесу лінеаризації для одновимірного вектору  $H_{\tau}^{(1)}$  відеокадру формується сукупність числових пар  $v$  :

$$v = \{ h'_i, g'_i \} \quad (6)$$

де  $h'_i$  - значення  $i$ -ої значущої компоненти одновимірного сегменту;  
 $g'_i$  - кількість повторів  $i$ -ої значущої компоненти.

У результаті такого підходу для вектору  $\hat{H}_{\tau}$  значущих компонент, властива наступна закономірність: сусідні компоненти послідовності  $h'_{\xi}$  і  $h'_{\xi+1}$  (де  $\xi = \overline{1, v}$ ) будуть не рівні

$$h'_{\xi} \neq h'_{\xi+1}, \quad \xi = \overline{1, v}. \quad (7)$$

Величина динамічного діапазону  $w(h'_i)$  вектору  $\hat{H}_{\tau}$  значущих компонент серед компонент  $h'_i$  дорівнюватиме максимальному значенню  $h'_{i \max}$  значущої компоненти вектору, тобто

$$w(h'_i) = h'_{i \max}. \quad (8)$$

Для значущих компонент виконуватиметься закономірність відносно обмеженого динамічного діапазону, тобто

$$h_{\min} \leq h'_1, \dots, h'_i, \dots, h'_v \leq h_{\max} \quad (9)$$

Тут різниця між величиною верхнього рівня  $h_{\max}$  і величиною нижнього рівня  $h_{\min}$  діапазону величин  $h'_i$ , на інтервалі  $1 \leq i \leq v$  буде така ж, як і динамічний діапазон для вектору  $H_{\tau}^{(1)}$ .

Таким чином, якщо для компонент вектору  $\hat{H}_{\tau}$  виконуються умови:

$$h_1 \leq w(h')_1 = h_{\max} - h_{\min} + 1; h_i \leq w(h')_i = h_{\max} - h_{\min}, \quad i = \overline{2, v}, \quad (10)$$

тоді  $w(h')_i \neq w(h')_v, \quad i \neq v, \quad i, v = \overline{1, v}$  називається позиційним числом з нерівними сусідніми елементами (ПЧНСЕ) і з системою основ  $W(h) = \{w(h')_i\}$  [8].

Таким чином, для оцінки інформативності, що стосується представлення послідовності значущих компонент, то необхідно визначити кількість допустимих ПЧНСЕ. Для позиційної системи із змішаними основами кількість допустимих чисел дорівнює  $\prod_{j=1}^v w(h')_j$ . Отже, з урахуванням співвідношень для величин основ  $w(h')_i$ , отримаємо наступні вирази для визначення кількості  $V_v^{(h)}$  допустимих ПЧНСЕ:

$$V_v^{(h)} = \prod_{j=1}^v w(h')_j = (h_{\max} - h_{\min} + 1)(w(h')_i)^v. \quad (11)$$

Це забезпечує:

для компонент вектору  $\hat{H}_{\tau}$  - незмінність основ;

сусідні компоненти вектору  $\hat{H}_{\tau}$  мають різні значення.

Максимальна кількість  $D_{\tau}^{(h)}$  розрядів необхідна, на представлення вектору  $\hat{H}_{\tau}$  значущих компонент обчислюється за формулою:

$$\begin{aligned} D_{\tau}^{(h)} &= [\log_2 V_v^{(h)}] + 1 = [\log_2 (h_{\max} - h_{\min} + 1) w(h')^v] + 1 = \\ &= [\log_2 (h_{\max} - h_{\min} + 1) + (v) \log_2 w(h')] + 1 \end{aligned} \quad (12)$$

де  $h_{\min}, h_{\max}$  - величина нижнього та верхнього рівня динамічного діапазону;

$w(h')^v$  - динамічний діапазон

$v$  - кількість компонент у векторі  $\hat{H}_{\tau}$ .

Звідки середня кількість  $\overline{D}_{\tau}^{(h)}$  двійкових розрядів, необхідних на відображення однієї компоненти вектору  $\hat{H}_{\tau}$ , дорівнюватиме:

$$\overline{D}_{\tau}^{(h)} = \frac{[\log_2 (y_{\max} - y_{\min} + 1) + (v) \log_2 w(h')] + 1}{v} \quad (13)$$

Тоді мінімальна кількість  $\bar{S}_{\min}^{(h)}$  надмірності у разі представлення компоненти сегменту блоку після ДКП як елемента позиційного числа з нерівними сусідніми елементами оцінюється по формулі:

$$\bar{S}_{\min}^{(h)} = \frac{8 - \bar{D}'_{\tau}^{(h)}}{8} \times 100\% = (1 - [\frac{\log_2(h_{\max} - h_{\min} + 1)}{8(v)} + \frac{\log_2 w(h')}{8(v)}])100\% \quad (14)$$

Оскільки виконується нерівність:

$$\log_2(h_{\max} - h_{\min}) \leq 8 \quad (15)$$

тоді мінімальна кількість надмірності  $\bar{S}_{\min}^{(h)}$  буде відмінною від нульового рівня, тобто  $\bar{S}_{\min}^{(h)} > 0\%$ .

Таким чином, в результаті представлення вектору значущих компонент позиційним числом з нерівними сусідніми елементами досягається скорочення надмірності відносно випадку обробки окремих компонент. Зниження надмірності досягається в результаті обліку структурно-комбинаторних закономірностей у векторі значущих компонент, які проявляються в тому, що, :

для вектору  $\hat{H}_{\tau}$  проявляється обмеженість динамічного діапазону як знизу, так і згори;

виконується обмеження на нерівність між сусідніми компонентами [8].

#### **Позиційне кодування значущих компонент сегменту відеокадру.**

Позиційне число з нерівними сусідніми елементами (ПЧНСЕ) утворюється на основі вектору значущих компонент.

Формування кодового опису пропонується здійснювати на базі побудови кодових конструкцій для позиційних чисел. Виведення виразу для кодування ПЧНСЕ здійснюється у два етапи:

1) перший етап полягає у визначенні значення коду вектору, враховуючи обмеженість динамічного діапазону сегменту відеокадру;

2) на другому етапі виводяться вираження для отримання коду позиційного числа з урахуванням обмеження на рівність сусідніх компонент вектору  $\hat{H}_{\tau}$ .

Тут величина  $\Delta V(h')_i$  визначається як кількість допустимих послідовностей передуючих вектору  $\Delta H(\tau - i)$ . Величина  $\Delta V(h')_i$  обчислюється за наступною формулою [6]:

$$\Delta V(h')_i = \begin{cases} h'_i (w(h') - 1)^{(v-i)} - \Delta V(h'_i = h'_{i-1}), \\ \rightarrow h'_{i-1} < h'_i; \\ h'_i (w(h') - 1)^{(v-i)}, \\ \rightarrow h'_{i-1} > h'_i \end{cases} \quad (16)$$

де  $h'_i (w(h') - 1)^{(v-i)}$  - сумарна кількість послідовностей (завдовжки рівною  $\gamma_i$ ), для усіх елементів яких, окрім  $i$ -го, виконуються обмеження на динамічний діапазон і на нерівність сусідніх елементів;  $\Delta V(h''_i = h'_{i-1})$  визначає кількість заборонених послідовностей, складених з елементів, передуючих кодованій послідовності  $\Delta H(v - i)$ .



Введемо допоміжну величину  $\omega_i$ , яка дорівнює:

$$\omega_i = \begin{cases} h'_i, & \rightarrow h'_i < h'_{i-1}; \\ h'_i - 1, & \rightarrow h'_i > h'_{i-1}. \end{cases} \quad (17)$$

Внаслідок чого співвідношення для коду  $F(h')_u$  вектору значущих компонент сегменту відеокадру набере вигляду:

$$F(h')_u = \sum_{i=1}^v \omega_i (w(h') - 1)^{(v-i)}. \quad (18)$$

По умові кодування значущих компонент для першої компоненти повинні виконуватися дві умови:

на значення компонент, передуючих елементу  $h'_1$ , не накладаються обмеження відносно нульового елемента, тобто не повинна виконуватися нерівність;

забезпечуватися виконання нерівності  $h'_0 = w(h') > h'_1$ .

Тому для компоненти  $h'_1$  в якості передуючої  $h'_0$  вибирається значення  $w(h')$ , рівне динамічному діапазону вектору  $\hat{H}_\tau$ , тобто:

$$h'_0 = w(h'). \quad (19)$$

Таким чином, співвідношення (17) - (19) дозволяють визначити значення коду для вектору значущих компонент сегменту відеокадру, що є позиційним числом з нерівними сусідніми елементами.

Як приклад, розглянемо одновимірний вектор  $H_\tau^{(1)}$ :

$$H_\tau^{(1)} = [ -7 -4 6 -5 -4 -6 3 -4 5 -4 1 1 5 0 0 0 -2 1 0 0 0 -2 -1 \text{ КС } ]$$

де КС - кінець сегменту відеокадру.

З компонент вектору  $H_\tau^{(1)}$ , формуємо числові пари, тобто:

$$(7;0)(4;0)(6;0)(5;0)(4;0)(6;0)(3;0)(4;0)(5;0)(4;0)(1;2)(5;0)(0;3)(2;0)(1;0)(0;3)(2;0)(1;0)$$

Потім, виділяємо значущі компоненти, тим самим формуючи вектор значущих компонент :

$$\hat{H}_\tau = \{ 7, 4, 6, 5, 4, 6, 3, 4, 5, 4, 1, 5, 0, 2, 1, 0, 2, 1 \}$$

Визначимо динамічний діапазон  $w(h)$  вектору  $\hat{H}_\tau$ , який дорівнює, :

$$h_0 = w(h) = 8.$$

*Етап 1.* Виконується нерівність  $h_0 = w(h) = 8 > h'_1 = 7$ . Значить  $\omega = 7$ , а величина вагового коефіцієнта  $h'_1$  дорівнює:

$$w(h) - 1^{(v-1)} = 8 - 1^{(18-1)} = 7^{17} = 2^{48}$$

*Етап 2.* Виконується нерівність  $h'_1 = 7 > h'_2 = 4$ . Звідки  $\omega = 4$ , а величина вагового коефіцієнта  $h'_2$  дорівнює:

$$w(h) - 1^{(v-1)} = 8 - 1^{(18-2)} = 7^{16} = 2^{45}$$

*Етап 3.* Виконується нерівність  $h'_2 = 4 < h'_3 = 6$ . Тому  $\omega = 6 - 1 = 5$ , а величина вагового коефіцієнта  $h'_3$  дорівнює:

$$w(h) - 1^{(v-3)} = 8 - 1^{(18-3)} = 7^{15} = 2^{43}$$

*Етап 4.* Виконується нерівність  $h'_{15} = 1 < h'_{16} = 0$ . Значить  $\omega = 0$ , а величина вагового коефіцієнта  $h'_{16}$  дорівнює:

$$w(h) - 1^{(v-16)} = 8 - 1^{(18-16)} = 7^2 = 2^4$$

*Етап 5.* Виконується нерівність  $h'_{16} = 0 > h'_{17} = 2$ . Відповідно  $\omega = 2 - 1 = 1$ , а величина вагового коефіцієнта  $h'_{17}$  дорівнює:

$$w(h) - 1^{(v-1)} = 8 - 1^{(18-17)} = 6^1 = 2^3$$

*Етап 6.* Виконується нерівність  $h'_{17} = 2 < h'_{18} = 1$ . Звідки  $\omega = 1 - 1 = 0$ , а величина вагового коефіцієнта  $h'_{18}$  дорівнює:

$$w(h) - 1^{(v-1)} = 8 - 1^{(18-18)} = 6^0 = 2^0$$

$$F(h')_u = 7 \times 7^{17} + 4 \times 7^{16} + 5 \times 6^{15} + \dots + 0 \times 7^2 + 1 \times 7^1 + 0 \times 7^0 = 2^{48}$$

На представлення числа  $F(h')_u$  необхідно виділити 48 розрядів тобто  $2^{48}$ .

У цьому випадку в результаті виключення послідовностей, що містять рівні сусідні компоненти, досягається усунення структурної надмірності без внесення спотворень.

**Висновки.** Обґрунтовано підхід для побудови технології компресії відеокадрів з використанням попереднього перетворення (трансформування), що базується на:

а) формуванні двох складових трансформанти, а саме: вектора значущих і масштабуючих компонент, що в свою чергу дозволяє:

по-перше, адаптуватися до структури трансформанти, враховуючи різну концентрацію високочастотних компонент у сегменті зображення та різний рівень фактору квантування;

по-друге, виявляти додаткові структурні закономірності в трансформанті сегментованого зображення.

по-третє, опис вектора значущих компонент трансформанти у вигляді елементів позиційних чисел з нерівними сусідніми елементами, що дозволяє адаптуватися до властивостей лінійаризованих трансформант за рахунок обліку: нерівності значень сусідніх компонент; обмеженості динамічного діапазону компонент трансформанти.

Таким чином, для запропонованого методу стиску, заснованого на обробці компонентної структури трансформанти, досягається зниження обсягів відеоданих та забезпечується підвищення продуктивності функціонування інфокомунікаційних бортових систем із заданою якістю достовірності.

### Список використаних джерел

1. Гонсалес Р. Цифрова обробка зображень/Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Методи та засоби формування й обробки видових зображень у системі повітряної розвідки: навч. посіб./Ю.В. Стасєв, В.В. Бараннік, Б.М. Іващук та ін. – Х.: ХУПС, 2012. – 452 с
3. Обґрунтування напрямку підвищення оперативності доставки інформації у автоматизованих системах обробки розвідувальних даних / В.В. Бараннік, О.П. Давикоза, О.П. Мусієнко, Д.А. Тарасенко / Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2017, 4(53)
4. Метод кодування трансформованих зображень для підвищення продуктивності телекомунікаційних систем / Кривонос В.М. / Автореферат / Національний університет «Львівська політехніка» – Львів 2014.
5. Метод підвищення продуктивності інфокомунікаційних систем на основі трансформування та кодування відеоданих / Наукоємні технології в інфокомунікаціях: обробка інформації, кібербезпека, інформаційна боротьба: колективна монографія / під редакцією В.В. Баранника, В.М. Безрука. – Х.: ТОВ «Видавництво «Лідер»», 2017. – 600 с. (с. 161-177.)
6. Баранник В.В. Кодирование значимых компонент трансформант / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Хаханова // Радиоэлектроника и информатика. – 2012. – № 2 (57). – С. 32-35.
7. Кривонос В.Н. Метод компактного представления вектора масштабирующих компонент трансформант/ В.Н. Кривонос, Н.К. Гулак, М.В. Думанский. // Сучасна спеціальна техніка – 2012. – № 3(30) – С. 28 – 33.
8. Баранник В.В. Структурная модель информативности значимых компонент трансформант / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Хаханова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – №2(99) – С. 26-29.
9. Wallace G.K. Overview of the JPEG (ISO/CCITT) Still image compression: image processing algorithms and techniques / G.K. Wallace // Processing of the SPIE. – 1990. – Vol. 1244. – P. 220-233.
10. Wallace G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication in ACM. – 1991. – Vol.34, №4. – P.31-34.