

DOI: 10.18372/2310-5461.63.19756  
УДК 004.622: 517.927

Є. С. Єлісєєв

Харківський національний університет радіоелектроніки  
<https://orcid.org/0000-0002-0953-4397>  
e-mail: paradox0670@gmail.com

## МЕТОД СТИСНЕННЯ СЕГМЕНТОВАНОГО ВІДЕОПОТОКУ В КЛАСТЕРИЗОВАНОМУ СПЕКТРАЛЬНО-ПАРМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРИ

### Вступ

Технології цифрової обробки відеоданих та їх інтелектуального аналізу мають потужний вплив на розвиток та ефективність функціонування сучасних прикладних процесів в різних галузях [1; 2]. Сюди можна віднести такі, як: оборонно-здатність та інформаційна безпека держави; підприємства критичної інфраструктури; інформаційно-мережна інфраструктура; аерокосмічна промисловість [3]. Означені тенденції зумовлено взаємною інтеграцією різних технологічних рішень стосовно штучного інтелекту, автоматизованих систем; телекомунікаційних технологій та засобів радіотехніки [4; 5].

Водночас в процесі суміщення різних технологій для побудови складних інфраструктурних систем виникають проблемні суперечності [5; 6]. Одною з таких є суперечність між окремими вимогами щодо надання інтелектуалізованих відеосервісів та забезпечення категорій їх безпеки та надійності функціонування [7]. Особливо це стосується технологічних підходів, які використовують бездротові інформаційно-мережні технології в умовах наявності кібернетичних атак [8; 9].

Рішення такого типу суперечностей супроводжуються появою таких особливостей: збільшення складності відеоінформаційних потоків; підвищення рівня їх інформаційної інтенсивності; зростання піксельного об'єму відеокадрів [10]. Звідси виникає питання щодо обмеженої можливості існуючих технологій обробки та кодування (стиснення) відеоданих в умовах забезпечення якості відеосервісів з залученням бездротових інформаційно-мережних систем [11–13].

Звідси постає актуальна *науково-прикладна задача* відносно удосконалення технологій стиснення в умовах зростання складності та інтенсивності потоку відеоданих.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Наявні рішення стосовно побудови методів стиснення відеоданих будують на основі використання послідовності окремих вузлів обробки даних [14; 15]. Сюди можна віднести такі, як: висування гіпотези відносно наявності певних залежностей; використання апарату усунення надмірності; перетворення сегментів відеокадрів до більш зручної форми; кодування з побудовою вихідних кодових слів [16; 17].

Базові залежності, які висуваються для обліку залежностей є такі: візуального характеру та ймовірісно-статистичні залежності [18; 19]. Відповідно для усунення надмірності використовується апарат квантування спектральних масивів та статистичного кодування [20; 21]. Для статистичного кодування можуть застосовуватись два підходи, які будуються за умов префіксності для по-елементної або блочної реалізації [22; 23].

Відповідно аналіз продуктивності існуючих методів вказує на їх обмежені можливості щодо кодування складних потоків сегментованих відеоданих [24]. Звідси постає потреба, щодо подальшого розвитку технологій та методів стиснення відеоданих.

### Постановка проблеми

Варіант розвитку методів стиснення полягає в подальшому вдосконаленні окремих технологічних етапів JPEG-сумісних платформ [25; 26]. Тут, як базовий пропонується обирати підхід, який заснований на скороченні надмірності в спектрально-параметричному просторі [27; 28]. Спектрально-параметричний опис формується для масиву спектральних компонент на основі виявлення локальних суб-полос. Тут формуються два параметри: кількість спектральних елементів у суб-полосі; амплітуда спектрального значення суб-полоси. В цьому випадку з'являється можливість для додаткового скорочення структурної надмірності, яка зумовлена врахуванням візуальних особливостей в процесі структурування спектральних послідовностей. Однак, як показа-

но в працях [29; 30], такий підхід дозволяє ефективно кодувати дані на рівні окремих сегментів. У разі додаткового врахування міжтрансформантних залежностей виникають суперечності. Вони зумовлені відсутністю узгодженості характеристик спектрально-параметричного опису (СПОТ) окремих трансформант у послідовності [31].

Звідси пропонується застосовувати апарат перед-обробки потоку сегментованих даних. Це дозволяє визначити рівень складності контенту та провести етапи його кластеризації за побудови адаптивних перетворень щодо стиснення їх об'єму. В цьому напрямку необхідно використовувати технологію обробки сегментованого потоку відеоданих в уніфікованому спектрально-параметричному просторі. Для підвищення ефективності процесів обробки послідовності трансформант пропонується використовувати етап перед-обробки, який направлено на їх кластеризацію.

Звідси *мета досліджень статті* полягає у розробці методу стиснення сегментованого потоку відеоданих в спектрально-параметричному просторі.

**Розробка методу стиснення з врахуванням кластеризації в спектрально-параметричному просторі**

Пропонується процес кодування трансформант в СПОТ для кожного кластеру будувати наступною послідовністю етапів:

1. Перший етап – формування спектрально-параметричного опису трансформанти. Для трансформанти  $Y(t; \delta)$  після квантування з використанням обраної стратегії  $F(t; \delta)_{kvt}$  окреслюється послідовність спектральних суб-полос  $sb(t; \delta)_\alpha$ . Знаходиться їх кількість  $n(t; \delta)_{sb}$ . Після чого для ССП проводиться формування локальних компонент  $loc(t; \delta)_\alpha$  на основі встановлення двох параметрів: довжина  $\ell(t; \delta)_\alpha$  та значущий рівень  $sign(t; \delta)_\alpha$  ССП. Таким чином, будуються дві структурні складові  $L(t; \delta)^{(1)}$ ,  $S(t; \delta)^{(1)}$  СПОТ  $P(t; \delta)$ . Даний етап виконується для всіх трансформант  $Y(t; \delta)$  у визначеній послідовності  $Y(\delta)_T$ . Тоді маємо:

$$Y(\delta)_T \rightarrow P(\delta)_T = \{P(t; \delta)\}_{t=\overline{1, T}} = \{L(t; \delta)^{(1)}; S(t; \delta)^{(1)}\}_{t=\overline{1, T}},$$

або

$$Y(\delta)_T \rightarrow P(\delta)_T = \{\{\ell(t; \delta)_1; \dots; \ell(t; \delta)_{n(t; \delta)_{sb}}\}; \{sign(t; \delta)_1; \dots; sign(t; \delta)_{n(t; \delta)_{sb}}\}\}_{t=\overline{1, T}} \\ n(t; \delta)_{sb} = \text{var.}$$

2. Другий етап – кластеризація загальної послідовності трансформант. Необхідно забезпечити можливість врахування між-трансформантних залежностей за обліком особливостей в їх структурних складових  $L(t; \delta)^{(1)}$ ,  $S(t; \delta)^{(1)}$  СПОТ  $P(t; \delta)$ . Для цього проводиться кластеризації трансформант  $P(t; \delta)$ , що представлені у СПОТ, за кількістю  $n(t; \delta)_{sb}$  ЛКМ. Кластеризація проводиться за правилом:

$$P(\xi; \delta; \lambda) := P(t; \delta) : P(\xi; \delta; \lambda) \in \Omega(\delta; \lambda) \ \& \\ n(\delta; \lambda)_{ir} = n(\delta; \lambda)_{ir} + 1,$$

Якщо  $n(t; \delta)_\lambda \leq n(t; \delta)_{sb} \leq n(t; \delta)_{\lambda+1} \rightarrow n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} = n(t; \delta)_{sb}$

або через фільтруючий функціонал:

$$P(\xi; \delta; \lambda) := P(t; \delta) \times (1 - sign(2 - ((n(t; \delta)_{sb} - n(t; \delta)_\lambda) + (n(t; \delta)_{\lambda+1} - n(t; \delta)_{sb})))$$

Це дозволяє сформувати в кожному кластері  $\Omega(\delta; \lambda)$  такі трансформанти  $P(\xi; \delta; \lambda)$ , які мають однорідну кількість  $n(t; \delta)_{sb} = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  ЛКМ (довжини структурних складових  $L(t; \delta)^{(1)}$ ,  $S(t; \delta)^{(1)}$  СПОТ). Відповідно будується  $\Lambda$  кластерів, тобто:

$$P(\delta)_T = \{P(t; \delta)\}_{t=\overline{1, T}} \rightarrow \Omega(\delta) = \{\Omega(\delta; \lambda)\}_{\lambda=\overline{1, \Lambda}} = \{\{P(1; \delta; \lambda); \dots; P(\xi; \delta; \lambda); \dots; P(n(\delta; \lambda)_{ir}; \delta; \lambda)\}\}_{\lambda=\overline{1, \Lambda}} \\ n(t; \delta)_{sb} = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} = \text{const}$$

$$L(\delta; \lambda) = \begin{vmatrix} \ell(1; \delta; \lambda)_1 & \dots & \ell(t; \delta)_1 & \dots & \ell(n(\delta; \lambda)_{ir}; \delta; \lambda)_1 \\ & & & \dots & \\ \ell(1; \delta; \lambda)_\alpha & \dots & \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha & \dots & \ell(n(\delta; \lambda)_{ir}; \delta; \lambda)_\alpha \\ & & & \dots & \\ \ell(1; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} & \dots & \ell(\xi; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} & \dots & \ell(n(\delta; \lambda)_{ir}; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \end{vmatrix};$$

$$S(\delta; \lambda) = \begin{vmatrix} \text{sign}(1; \delta; \lambda)_1 & \dots & \text{sign}(t; \delta)_1 & \dots & \text{sign}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda)_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{sign}(1; \delta; \lambda)_\alpha & \dots & \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha & \dots & \text{sign}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda)_\alpha \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{sign}(1; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} & \dots & \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} & \dots & \text{sign}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \end{vmatrix}$$

Отже утворюються двовимірні розподіли структурних параметрів  $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ ,  $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  ССП  $\text{sb}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  у кожному  $\lambda$ -му кластері, а саме:

- за напрямком рядків формуються структурно-параметричні слайси (СПС)  $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$  та  $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ ;
- за напрямком стовпців формуються структурні складові  $L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ ,  $S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  трансформанти  $P(\xi; \delta; \lambda)$ , що представлена в спектрально-параметричному вигляді.

3. Третій етап – представлення компонент  $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ ,  $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  структурних складових  $L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ ,  $S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ в нормованому просторі з диференціюванням. Це дозволяє врахувати властивості однорідності структурних характеристик СПОТ в напрямку СПС слайсів  $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$  та  $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$  кластеру  $\Omega(\delta; \lambda)$ .

Такі властивості зумовлено наявністю додаткових обмежень на верхні та нижні  $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ ,  $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$  межі інтервалів  $\text{diap}(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ ,  $\text{diap}(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$  визначеності компонент  $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  та  $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  за напрямком СПС слайсів.

$$\begin{matrix} \text{pow} & \{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}, \\ \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)} & \\ \text{pow} & \{\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}. \\ \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)} & \end{matrix}$$

Тобто тут враховуються між-трансформантні залежності в однорідному спектрально-параметричному описі кластеру. Для цього виконуються обчислення відповідно до встановлених виразів. В результаті формуються структурні складові  $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  та  $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  СПОТ в нормованому просторі з диференціюванням. Таким чином, компоненти  $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  та  $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  у складі відповідних складових  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ ,  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  в межах кластеру характеризуються такими обмеженнями:

- обмеження на інтервал зміни значень за напрямком СПС слайсів, тобто:

$$\begin{aligned} \bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha &\leq \text{diap}(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \\ \overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha &\leq \text{diap}(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \\ \alpha &= \overline{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}}; \end{aligned}$$

- обмеження за інтервалом зміни значень в межах окремих нормованих складових  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ ,  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ, тобто:

$$\begin{aligned} \bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha &\leq \text{diap}(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \leq \text{diap}(L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}); \\ \overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha &\leq \text{diap}(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \leq \text{diap}(S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}); \\ \xi &= \overline{|\Omega(\delta; \lambda)|}. \end{aligned}$$

4. Четвертий етап – двійкове блочне кодування за локально-монотонною стратегією кодового визначення. Даний етап базується на двох технологічних діях:

4.1. Встановлення кількості  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  біт для довжин блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  структурних складових  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ ,  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ в нормованому просторі з диференціюванням. Для визначення бітових довжин  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  використовуються створені вирази. При цьому враховуються однорідність структурних особливостей СПОТ кожного кластеру.

Для маркування відомостей щодо кількості біт кожного блочного коду кластеру  $\Omega(\delta; \lambda)$  використовується адаптивний принцип. Обліковуються структурні ознаки  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  кожного кластеру за побудовою СПОТ-представлення. Відповідно для визначення довжин  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L$ ,  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S$  маркерів блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  кожної структурної складової  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  та  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ використовуються отримані вирази.

4.2. Безпосереднє формування двійкових блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$  та  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  за визначеними довжинами  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ .

Для скорочення кількості надмірності за встановленими залежностями застосовується двійкове блочне кодування з визначенням ваги

$\psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha$  та  $\psi(\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha$  компонент  $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  та  $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  за позиційними правилами, тобто:

$$\psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha = \text{diap}(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} - \alpha};$$

$$\psi(\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha = \text{diap}(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} - \alpha}.$$

З іншого боку такий підхід до визначення ваги компонент  $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  та  $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  складових  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  та  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ забезпечує виключення ситуацій виникнення кодових колізій, які пов'язано з недостатньою визначених довжин  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  відносно максимально-можливих довжин двійкових блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$  та  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ . Це ґрунтується на правилі формування довжин  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ , як кількість біт на представлення максимальних значень  $[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$  та  $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$  серед кодових еквівалентів  $\lambda$ -го кластеру, тобто:

$$V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}\}] + 1;$$

$$V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}\}] + 1.$$

Отже узагальнені співвідношення для побудови двійкових блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$  та  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  структурних складових  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  та  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ  $P(\xi; \delta; \lambda)$  для  $\lambda$ -го кластеру за визначеними довжинами  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  мають такий вигляд:

$$C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)} = \begin{matrix} \text{binar} \\ [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}\}] + 1 \end{matrix} \times$$

$$\times \left( \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \cdot \psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha \right);$$

$$C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)} =$$

$$= \begin{matrix} \text{binar} \\ [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}\}] + 1 \end{matrix} \times$$

$$\times \left( \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \cdot \psi(\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha \right);$$

$$\xi = 1, n(\delta; \lambda)_{tr}.$$

За результатами такого кодування структурних складових всіх СПОТ даного кластеру формуються відповідно дві кодові послідовності:

$$C(\bar{L}(\delta; \lambda)) = \{C(\bar{L}(1; \delta; \lambda))^{(1)}, \dots;$$

$$C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}, \dots;$$

$$C(\bar{L}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda))^{(1)}\};$$

$$C(\bar{S}(\delta; \lambda)) = \{C(\bar{S}(1; \delta; \lambda))^{(1)}, \dots;$$

$$C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}, \dots; C(\bar{S}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda))^{(1)}\}.$$

При цьому їх довжини є маркованими для здійснення процесу відновлення на приймальній стороні.

### Порівняльна характеристика методів стиснення

У разі порівняння методів стиснення основним показником є коефіцієнт  $\kappa_{cmp}$  зменшення бітового об'єму. В загальному випадку він визначається, як відношення об'єму  $V_b$  початкового дата-сету до об'єму  $V_c$  кодованого:

$$\kappa_{cmp} = V_b / V_c.$$

Під дата-сетом розуміється визначена одиниця інформаційної структури, для якої проводиться оцінка об'ємів до та після обробки (стиснення). Для випадку розробленого методу дата-сет визначається, як послідовність трансформант, що належить одному кластеру. Такі трансформанти мають однакові значення параметру  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  – кількість значимих спектральних-СП (суб-полос). Відповідно за параметром  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  дата-сети трансформант поділяються на такі, що:

1) мають значимий вплив на ідентифікаційну здатність відновлених відеоданих ( $13 \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ );

2) мають достатній вплив на ідентифікаційну здатність відновлених відеоданих ( $5 \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \leq 12$ );

3) мають не суттєвий вплив на ідентифікаційну здатність відновлених відеоданих ( $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \leq 4$ ).

З іншого боку клас методів, до яких відноситься метод є методи з втратами або з контролем спотворенням відеоданих. В такому випадку значення коефіцієнту стиснення залежатиме від рівня та характеру внесених спотворень в процесі обробки визначених дата-сетів. Для кількісного визначення рівня втрат прийнято використовувати показник пікового відношення сигнал/шум (ПВСШ). Він обчислюється з врахування мери середньоквадратичного відхилення початкових та відновлених дата-сетів після декомпресії. При цьому в загальному випадку залежність між показниками стиснення та рівня спотворень дата-сетів є зворотно-пропорційною. Отже потрібно враховувати систему показників «рівень стиснення – рівень втрат». Звідси необхідно визначити відповідність між значенням ПВСШ та допустимим рівнем візуальної якості відновлених відеоданих. Тут з практичної позиції пропонується використовувати два рівня значень ПВСШ:  $\delta=25$  дБ та  $\delta=35$  дБ. Перший рівень визначає нижній поріг для задовільної якості

відеоданих. Другий – для достатньої якості. Регулювання півнем ПВСШ зачасти проводиться на етапі квантування спектральних масивів (трансформант).

Для порівняння пропонується використовувати методи кодування, що реалізовані в JPEG-сумісних платформах (рис. 1):

1 – метод по-елементного усунення статистичної надмірності;

2 – метод блочного ентропійного кодування.

Відповідно порівняльна оцінка характеристик обробки різних типів дата-сетів за системою «рівень стиснення – рівень втрат» наведена на рис. 1. На цьому рисунку діаграми для розробленого методу помічаються цифрою «3».

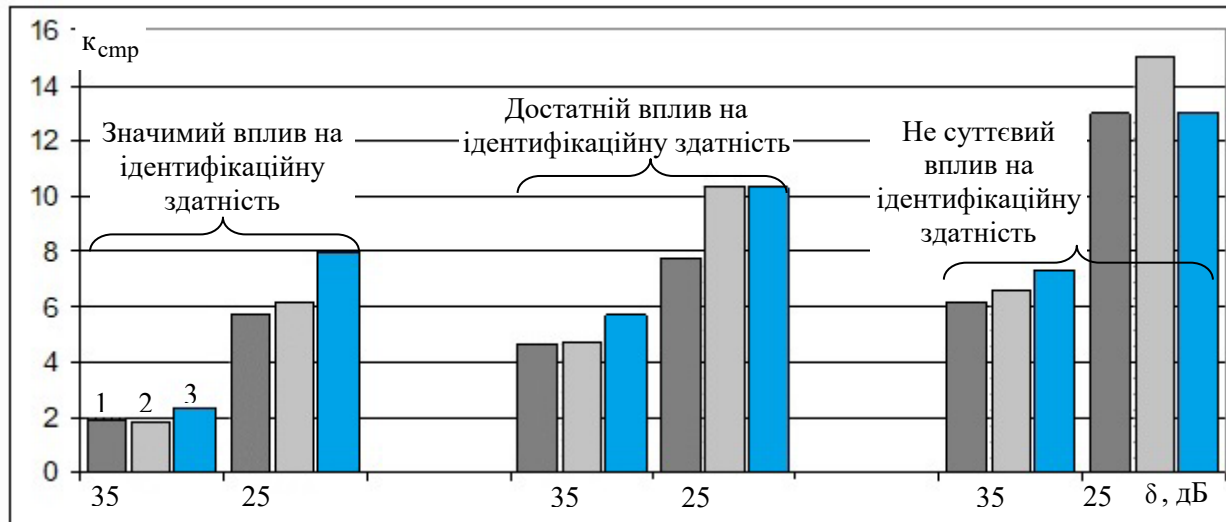


Рис. 1. Діаграми залежності  $r_{cmp}$  від параметру  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  СПОТ для реалізацій JPEG та ССПО у разі  $\delta=25$  дБ та  $\delta=35$  дБ

З аналізу діаграм можна указати на таке:

– для розробленого методу найбільша перевага за системою «рівень стиснення – рівень втрат» при рівні ПВСШ 25 та 35 дБ у порівнянні з існуючими методами досягається у разі обробки дата-сетів, які є значимими за впливом на ідентифікацію відеоданих. Такій вигоді становить від 13 до 21 % в залежності від рівня ПВСШ;

– у разі обробки дата-сетів, які мають достатній вплив на ідентифікаційну здатність відновлених відеоданих ( $5 \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \leq 12$ ) найбільша перевага за системою «рівень стиснення – рівень втрат» досягається для ПВСШ 35 дБ, та становить 12 %.

Звідси на основі результатів експериментальних оцінок можна вказати на перспективність розвитку створеного методу стиснення сегментованих відеоданих в спектрально-параметричному просторі.

**Висновки**

1. Розроблено технологію стиснення сукупності трансформант кластеру, базовими складовими якої є:

1) формування спектрально-параметричного опису трансформанти;

2) кластеризація загальної послідовності трансформант. Забезпечується можливість врахування між-трансформантних залежностей за обліком особливостей в їх структурних складових;

3) представлення компонент структурних складових СПОТ в нормованому просторі з диференціюванням. Це дозволяє врахувати властивості однорідності структурних характеристик СПОТ в напрямку СПС слайсів кластеру;

4) двійкове блочне кодування за локально-монотонною стратегією кодового визначення. Даний етап базується на двох технологічних діях:

– встановлення кількості біт для довжин блочних кодів структурних складових СПОТ в диференційно-нормованому просторі;

– безпосереднє формування двійкових блочних кодів за визначеними довжинами.

5) узагальнений кодовий опис послідовності трансформант.

**ЛІТЕРАТУРА**

[1] Thomas Abbott, Bevan Baas. A Scalable JPEG Encoder on a Many-Core Array. 2023 IEEE 16th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc). 2023. pp. 411-418. doi bookmark: 10.1109/MCSoc60832.2023.00068.

[2] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Бабенко Ю. М., Онищенко Р. С., Рєва К. В., Белікова Т. В., Ігнат'єв О. О. Technology of Sliding Coding of Uneven Diagonal Sequences in Two-Dimensional Spectral Space of Transformants. Вісник НТУУ «КПІ» Серія: Радіотехніка.

- Радіоапаратобудування*. 2023. № 94. С. 13–23. DOI: 10.20535/RADAP.2023.94.13-23.
- [3] Odarchenko R., Gnatyuk S., Gnatyuk V., Abakumova A. Security key indicators assessment for modern cellular networks. *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC): proceedings of the IEEE First International Conference*, 2018. P 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516889>.
- [4] Бараннік В. В., Сідченко С. О., Бараннік Д. В., Черномаз І. К., Гуржій П. М., Григор'ян М. Б. Saving Elements Methods for Service Components of Images Cryptocompression Codograms // *Вісник НТУУ «КПІ» Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. 2023. № 92. С. 28–40. DOI: 10.20535/RADAP.2023.92.28-40.
- [5] Ascenso J., Alshina E., Ebrahimi T. The JPEG AI Standard: Providing Efficient Human and Machine Visual Data Consumption // *IEEE MultiMedia*. 2023. Т. 30, № 1. DOI: 10.1109/MMUL.2023.3245919.
- [6] Zia U., McCartney M., Scotney B. та ін. Survey on image encryption techniques using chaotic maps in spatial, transform and spatiotemporal domains // *International Journal of Information Security*. 2022. Т. 21. С. 917–935. DOI: 10.1007/s10207-022-00588-5.
- [7] Duan X., Li B., Yin Z., Zhang X., Luo B. Robust image steganography against lossy JPEG compression based on embedding domain selection and adaptive error correction // *Expert Systems with Applications*. 2023. Т. 229, Частина А. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120416.
- [8] Krasnorutsky A., Barannik V., Shulgin S., Kolesnyk V., Kharchenko N., Revva K. Integration of Video Image Decryption Coding into a Remote Video Information Service // *2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2023. С. 1–6. DOI: 10.1109/AICT61584.2023.10452679.
- [9] Козловський В., Толстікова О., Савченко А., Клобукова Л. Критерії вибору спектрально-ефективних сигналів у бездротових інформаційних мережах. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 286–273. DOI: 10.18372/2310-5461.56.17125.
- [10] Bross B., Wang Y.-K., Ye Y., Liu S., Chen J., Sullivan G. J., Ohm J.-R. Overview of the versatile video coding (VVC) standard and its applications // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2021. Т. 31, № 10. С. 3736–3764. DOI: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.
- [11] Barannik V. et al.: Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, November 25–27, 2020). Kyiv, 2020. P. 52–56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [12] Barannik V. та ін. The Methods of Intellectual Processing of Video Frames in Coding Systems in Progress Aeromonitor to Increase Efficiency and Semantic Integrity // *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. Kyiv, Ukraine, 2022. С. 53–56. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [13] Bas P., Filler T., Pevný T. Break our steganographic system – the ins and outs of organizing BOSS // *Information Hiding, 13th International Conference*. У: Filler T., Pevný T., Ker A., Craver S. (ред.). *Lecture Notes in Computer Science*. 2011. Т. 6958. С. 59–70. Prague, Czech Republic. DOI: 10.1007/978-3-642-24178-9\_5.
- [14] Бараннік В. В., Цімура Ю. В., Гаврилов Д. С., Гуржій П. М., Колесник В. О. Метод адаптивного цілісного арифметичного кодування з врахуванням RLE-перетворення // *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки*. 2023. №3. С. 5–13. DOI: 10.58254/viti.3.2023.01.05
- [15] Kang D., Koniusz P., Cho M., Murray N. Distilling Self-Supervised Vision Transformers for Weakly-Supervised Few-Shot Classification & Segmentation // *2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2023. С. 19627–19638. DOI: 10.1109/CVPR52729.2023.01880.
- [16] Dworetzky E., Kaziakhmedov E., Fridrich J. Advancing the JPEG Compatibility Attack: Theory, Performance, Robustness, and Practice // *Proceedings of the 2023 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security*. 2023. С. 67–79. DOI: 10.1145/3577163.3595090.
- [17] Barannik V., Shiryayev A. Quadrature compression of images in polyadic space // *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. 2012. С. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484.
- [18] Sullivan G. J., Ohm J.-R., Han W.-J., Wiegand T. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. Т. 22, № 12. С. 1649–1668. DOI: 10.1109/TCSVT.2012.2221191.
- [19] Одарченко Р., Рябенко М., Іванова М., Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн М. Метод аналізу взаємодії параметрів QOE та QOS на основі алгоритмів керування машинами. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 305–316. DOI: 10.18372/2310-5461.56.17130.
- [20] Barannik V. та ін. Development of Adaptive Arithmetic Coding Method to the Sequence of Bits // *Engineer of the XXI Century. EngineerXXI*

2018. У: Zawiślak S., Rysiński J. (ред.). Mechanisms and Machine Science. Springer, Cham, 2020. Т. 70. DOI: 10.1007/978-3-030-13321-4\_18. ISSN 2211-0984.
- [21] Barannik V., Khimenko V., Barannik N., Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. №. 4. PP. 119–13. DOI: 10.32620/reks.2021.4.
- [22] Цімура Ю., Костромицький А., Суханов О., Думич С. Метод кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі // *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. 2024. Випуск 4 (1). С. 61–69. DOI: 10.23939/ict2024.01.061.
- [23] Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnik V., Barannik V., Pchelnykov S., Zeleny P. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks // *Radioelectronic and Computer Systems*. 2022. no 4(100). pp. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
- [24] Barannik V., Klymash M., Luntovskyy A., Beshley M., Melnyk I., Schill A. A Method of Scrambling for the System of Cryptocompression of Codograms Service Components // *Emerging Networking in the Digital Transformation Age* / M. Klymash, A. Luntovskyy, M. Beshley, I. Melnyk, A. Schill (eds). – Switzerland: Springer, Cham, 2023. P. 299–309. DOI: 10.1007/978-3-031-24963-1\_26.
- [25] Бараннік В. В., Красноруцький А. О., Колесник В. О., Сушко А. Л., Єлісєєв Є. С., Федоровський О. В. Метод штампування відео-сегментів для збереження їх надійності в спектрально-кластерному просторі // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування»*. 2023. Вип. 92. С. 41–53. DOI: 10.20535/RADAR.2023.92.41-53.
- [26] Бараннік В. В., Єлісєєв Є. С., Цімура Ю., Бабенко М. В., Тарасенко Д. Метод кластеризації послідовності трансформант за структурними ознаками їх спектрально-параметричного опису // *Наукоємні технології*. 2024. №2(62). С. 185–192. DOI: 10.18372/2310-5461.62.18712
- [27] Бараннік В. В., Красноруцький А. О., Колесник В. О., Пчельніков С. І., Бабенко Ю. М., Шейгас О. М. Метод кодування відео-сегментів у спектрально-кластерному просторі з виявленням структурних ознак // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування»*. 2022. Вип. 90. С. 21–30. DOI: 10.20535/RADAR.2022.90.21-30.
- [28] Barannik V., Berchanov A., Barannik V., Babenko M., Onyshchenko R., Kolodiichuk L. Method of Mini Segments Encoding in Difference Space Using Haar Wavelet // *2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2023. – P. 1–4. DOI: 10.1109/AICT61584.2023.10452674.
- [29] Barannik V. et al. Method of Coding Video Images Based on Meta-Determination of Segments // *Digital Ecosystems: Interconnecting Advanced Networks with AI Applications* / A. Luntovskyy, M. Klymash, I. Melnyk, M. Beshley, A. Schill (eds). – Cham: Springer, 2024. P. 1–10. DOI: 10.1007/978-3-031-61221-3\_27.
- [30] Бараннік В. В., Єлісєєв Є. С., Цімура Ю., Бабенко М. В., Ушань В. Метод стиснення кластеризованих трансформант на основі блочного кодування з локально-монотонним визначенням довжини // *Наукоємні технології*. 2024. №3(63). С. 274–281. DOI: DOI: 10.18372/2310-5461.63.18971.
- [31] Barannik V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET): proceedings of Intern. Conf. (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19–23, 2008)*, Lviv-Slavsko, 2008. P. 378-380.

Єлісєєв Є. С.

## МЕТОД СТИСНЕННЯ СЕГМЕНТОВАНОГО ВІДЕОПОТОКУ В КЛАСТЕРИЗОВАНОМУ СПЕКТРАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРІ

Показано, що в процесі суміщення різних технологій для побудови складних інфраструктурних систем виникають проблемні суперечності. Одою з таких є суперечність між окремими вимогами щодо надання інтелектуалізованих відеосервісів та забезпечення категорій їх безпеки та надійності функціонування. Особливо це стосується технологічних підходів, які використовують бездротові інформаційно-мережні технології в умовах наявності кібернетичних атак. В статті викладається те, що рішення такого типу суперечностей супроводжуються появою таких особливостей: збільшення складності відеоінформаційних потоків; підвищення рівня їх інформаційної інтенсивності; зростання піксельного об'єму відеокадрів. Звідси виникає питання щодо обмеженої можливості існуючих технологій обробки та кодування відеоданих в умовах забезпечення якості відеосервісів з залученням бездротових інформаційно-мережних систем. Відповідно аналіз продуктивності існуючих методів вказує на їх обмежені можливості щодо кодування складних потоків сегментованих відеоданих. Звідси постає потреба, щодо подальшого розвитку технологій та методів стиснення відеоданих. Варіант розвитку методів стиснення полягає в подальшому вдосконаленні окремих

технологічних етапів JPEG-сумісних платформ. Тут, як базовий пропонується обрати підхід, який заснований на скороченні надмірності в спектрально-параметричному просторі. Звідси пропонується застосовувати апарат перед-обробки потоку сегментованих даних. Це дозволяє визначити рівень складності контенту та провести етапи його кластеризації за побудови адаптивних перетворень щодо стиснення їх об'єму. В цьому напрямку необхідно використовувати технологію обробки сегментованого потоку відеоданих в уніфікованому спектрально-параметричному просторі. Розроблено технологію стиснення сукупності трансформант кластеру, базовими складовими якої є: формування спектрально-параметричного опису трансформанти; кластеризація загальної послідовності трансформант; представлення компонент структурних складових СПОТ в диференціально-нормованому просторі; двійкове блочне кодування за локально-монотонною стратегією кодового визначення; узагальнений кодовий опис послідовності трансформант.

**Ключові слова:** зображення, стиснення, спектрально-параметричний опис, кластеризація трансформант, блочні коди.

**Eliseev E.**

### **METHOD COMPRESSION SEGMENTED VIDEO STREAM IN CLUSTERED SPECTRAL-PARAMETRIC SPACE**

*It is shown that in the process of combining different technologies to build complex infrastructure systems, problematic contradictions arise. One of these is the contradiction between certain requirements for the provision of intellectualized video services and the provision of categories of their security and reliability of functioning. This is especially true for technological approaches that use wireless information and network technologies in the presence of cyber attacks. The article states that solutions to this type of contradictions are accompanied by the appearance of the following features: an increase in the complexity of video information flows; increasing the level of their information intensity; increase in pixel volume of video frames. This raises the question of the limited possibility of existing technologies for processing and encoding video data in the conditions of ensuring the quality of video services with the involvement of wireless information and network systems. Accordingly, the performance analysis of existing methods indicates their limited capabilities in terms of encoding complex streams of segmented video data. Hence the need for further development of technologies and methods of video data compression. The option for the development of compression methods is to further improve individual technological stages of JPEG-compatible platforms. Here, as a basic one, it is proposed to choose an approach that is based on reduced redundancies in spectral-parametric space. Hence, it is proposed to use a segmented data flow pre-processing device. This allows you to determine the level of complexity of the content and carry out the stages of its clustering while building adaptive transformations to compress their volume. In this direction, it is necessary to use the technology of processing a segmented video data stream in a unified spectral-parametric space. A technology for compressing a set of transformants of a cluster has been developed, the basic components of which are: formation of a spectral-parametric description of transformants; clustering of the general sequence of transformants; representation of the components of the structural components of the SPOT in differentially normalized space; binary block coding according to the local-monotonic code definition strategy; Generalized code description of the transformant sequence.*

**Keywords:** Images, Compression, Spectral Parametric Description, Clustering Transformant, Block Codes.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2024 р.

Прийнято до друку 11.12.2024 р.