

УДК 621.327:681.5

Метод блочного кодування кластеризованих трансформант в спектрально-параметричному просторі

Бараннік В. В.¹, Єлісєєв Е. С.², Бабенко М. В.², Цімура Ю. В.³, Худаєв О. В.⁴, Сіненко Д. В.⁴,
Дубовик Г. В.⁴, Неминуций С. В.⁴, Оніпченко П. М.⁴

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

²Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

³Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

⁴Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, м. Харків, Україна

E-mail: v.v.barannik@karazin.ua

Розроблено метод стиснення відеоданих з контролем рівня спотворень якості відображень на основі їх попереднього оброблення в спектральному просторі. Викладено основні етапи створення методу локально-монотонного кодового визначення для двійкових блочних кодів в диференційно-нормованому просторі структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант (СПОТ) з використанням маркерів рівномірної довжини. В основі методу лежить система маркування двійкових блочних кодів складових СПОТ на основі встановлення інтервалів області визначення аргументів функцій блочного кодування. Це дозволяє забезпечити потрібний рівень цілісності відновлених відеофрагментів на основі створення умов щодо взаємно однозначного перетворення процесів формування кодограм. Порівняльна оцінка по коефіцієнту стиснення для розробленого та існуючих методів виявила: для значимих за СПОТ трансформант з параметрами квантування, що формують рівень пікового відношення сигнал/шум (ПВСШ) від 27 до 37 дБ перевага за коефіцієнтом стиснення досягається для розробленого методу. Виграш щодо методів, з якими проводиться порівняння, залежно від рівня ПВСШ становить: від 14 до 21%.

Ключові слова: відеозображення; спектрально-параметричний опис трансформант; якість відеозображень; локально-монотонне кодування; маркери блочних кодів; пікове відношення сигнал/шум

DOI: [10.20535/RADAR.2024.98.13-22](https://doi.org/10.20535/RADAR.2024.98.13-22)

Вступ. Постановка проблеми

Сучасні сервіси надання різних інформаційних послуг пов'язані з генерацією дуже великих об'ємів трафіку, який потрібно передавати телекомунікаційними мережами [1]. Переважна частка загального трафіку припадає на відеоінформаційні потоки. Тут можна навести такі приклади, як: управління критичною інфраструктурою, аналіз інформаційних потоків в комплексних проектах, наприклад «Smart City», «Безпечно місто». Тому до якісних властивостей такої інформації висуваються певні вимоги. Сюди відноситься: своєчасність доставки; достовірність; якість візуального сприйняття; якість передачі структурних компонент об'єктів моніторингу [2]. В свою чергу це сприяє зростанню попиту на використання технологій скорочення об'ємів інформаційного трафіку. Для цього в системах обробки інформації реалізуються методи стиснення даних [3].

На даний момент розроблена значна ланка різних методологічних підходів щодо стиснення відеоданих [4,5]. Існують вже декілька сімейств та версій поліпшення стандартизованих підходів [6,7]. Результатом роботи методів є скорочення інтенсивності трафіку. Відповідно, це розвантажує телекомунікаційні мережі та надає можливість для центрів керування отримувати інформацію в потрібному режимі [8]. Однак вимоги користувачів інформаційними сервісами постійно збільшуються. Все більше постає потреба у залученні для аналізу відеоінформації, яка формується віддаленими сенсорами [9,10]. Тут виникають значні часові затримки щодо передачі інформації. В основі цього лежить протиріччя між такими показниками процесів інформаційного забезпечення, як своєчасність передачі відеоінформації та її достовірність (якість візуального сприйняття відновлених відеозображень) [11]. Тому **актуальною науково-прикладною проблемою** є подальше вдосконалення методів стиснення ві-

деоданих в умовах зменшення колізії між їхніми основними показниками.

В загальному випадку для вирішення такої проблеми залучаються два класи комплексних методів [12, 13]. Перший клас це методи без внесення втрат достовірності інформації [14, 15]. Недоліком таких методів є недостатній рівень стиснення відеоданих. Другий клас – методи стиснення з наявністю спотворень якості відеозображень [16, 17]. Найбільш популярними тут є стандарт JPEG та WEB [18, 19].

Водночас технології стиснення відеоданих мають постійне вдосконалення. Це зумовлено факторами [20, 21]:

- збільшенням розмірів форматів зображень;
- використанням зображень для аналізу обстановки в кризових ситуаціях;
- вирішенням колізій щодо мережевих, хмарних та обчислювальних ресурсів [22];
- розвитком систем штучного інтелекту та їхнім застосуванням в автоматизованих системах управління [23];
- збільшенням кількості користувачів сучасними мультимедійними сервісами.

Це безумовно здійснює вплив на потреби у підвищенні якісних параметрів методів стиснення. Найбільший інтерес висувається до таких показників, як рівень: стиснення та спотворень в цифрованому описі відеозображень (рівень за показником пікового відношення сигнал/шум) [24, 25]. Однак саме такі показники мають зворотній характер залежності [26, 27]. Тоді реалізація засобів для збільшення рівня стиснення призводить до зменшення рівня якості відеозображень [28].

Відповідно потреба у вирішенні означених суперечностей сприяє створенню лінійки різних класів методів стиснення зображень [29]. Найбільш інтегрованими в сучасні інформаційні засоби є технології, які ґрунтуються на комплексній обробці. Додлачуються етапи перед-обробки, усунення надмірності, пост-обробки та підвищення візуальної якості [30]. Але для існуючих методів стиснення характерним недоліком є те, що [31]:

- задані рівні стиснення досягаються в режимах якості зображень, що мають наявність артефактів, спотворень контурної інформації та деградацію дрібних деталей [32, 33];
- непропорційна залежність між значним додатковим ускладненням алгоритмічної реалізації процесів кодування та обмеженою додатковою кількістю скорочення надмірності [34];
- додатковий виграш за рівнем стиснення супроводжується генерацією значної кількості службових відомостей. Це знижує загальний рівень стиснення зображень [35].

Тому для подальшого вдосконалення методів стиснення пропонується обирати напрямок, який має режим контрольованих спотворень якості відеозображень. Одним з варіантів такого напрямку є

використання перед-обробки в спектральному просторі фрагментів відеозображень [36]. Тому **мета досліджень даної статті** полягає в розробці методу стиснення з контролем рівня спотворень якості відображень на основі їхньої перед-обробки в спектральному просторі.

1 Обґрунтування напрямку вдосконалення методів стиснення з контрольованою якістю зображень

Конкретне насичення стандартизованого конвеєру обробки технологічними засобами залежить від особливостей прикладних завдань. У разі, якщо прикладні завдання пов'язані з додатками реального часу, тобто режим трансляції та/або обміну «живим» відео, то це має такі прояви:

- 1) головним показником є інтервал часових затримок на передачу відео;
- 2) додатковим показником є якість відео на стороні приймача (користувача-отримувача).

Відповідно це накладає певні технологічні особливості реалізації конвеєру стиснення. В даному випадку можна використовувати варіант перед-обробки, яка стосується формування спектрально-параметричного (СППР) опису трансформанти. Тут можна регулювати такими показниками, як рівень стиснення та кількість арифметичних операцій на обробку. Для цього змінюється розмах інтервалу варіант, по яких будуються спектральні субполоси $sb(t; \delta)_\alpha$ (ССБП):

$$sb(t; \delta)_\alpha = \{y(t; \delta)_{\alpha,1}; \dots; y(t; \delta)_{\alpha,\gamma}; \dots; y(t; \delta)_{\alpha,\ell(t;\delta)_\alpha}\}.$$

Чим більше величина розмаху, тим більше довжина $\ell(t; \delta)_\alpha$ ССБП, та відповідно реалізується:

- зменшення кількості спектральних елементів з подальшої обробки;
- збільшення рівня стиснення.

Таке пояснюється тим, що кожна ССБП $sb(t; \delta)_\alpha$ відображається двома параметрами, а саме: рівень $s(t; \delta)_\alpha$ та довжина $\ell(t; \delta)_\alpha$ ССБП $sb(t; \delta)_\alpha$. Зрозуміло, що функція відношення кількості $\log_2 \ell(t; \delta)_\alpha$ біт на довжину $\ell(t; \delta)_\alpha$ ССБП та кількості $v(sb(t; \delta)_\alpha)$ біт

$$v(sb(t; \delta)_\alpha) = b_y \ell(t; \delta)_\alpha$$

на сукупне уявлення спектральних елементів такої ССБП має логарифмічний характер. Тут b_y – кількість біт на один спектральний елемент постквантового масиву. Дійсно, оцінки темпів збільшення кількості $v(sb(t; \delta)_\alpha)$ біт на послідовність спектральних елементів в межах ССБП та на їхню довжину $\log_2 \ell(t; \delta)_\alpha$ представлено в Табл. 1.

Табл. 1 Порівняння темпів збільшення кількості біт на послідовність спектральних елементів в межах ССБП та на їхню довжину $\ell(t; \delta)_\alpha$

k	$k \cdot \log_2 \ell(t; \delta)_\alpha$, біт	$v(sb(t; \delta)_\alpha; k)$, біт
2	$\log_2 \ell(t; \delta)_\alpha + 1$	$2^1 \cdot b_y \ell(t; \delta)_\alpha$
4	$\log_2 \ell(t; \delta)_\alpha + 2$	$2^2 \cdot b_y \ell(t; \delta)_\alpha$
8	$\log_2 \ell(t; \delta)_\alpha + 3$	$2^3 \cdot b_y \ell(t; \delta)_\alpha$
16	$\log_2 \ell(t; \delta)_\alpha + 4$	$2^4 \cdot b_y \ell(t; \delta)_\alpha$

З аналізу даних в Табл. 1 слідує, що відношення темпів зросту кількості біт для двох випадків має показниковий характер.

Відповідно довжина $\ell(t; \delta)_\alpha$ ССБП $s(t; \delta)_\alpha$ є одним елементом, який буде оброблятися замість $\ell(t; \delta)_\alpha$ окремих спектральних елементів по біт кожний. Це скорочує кількість арифметичних операцій на обробку.

Отже, за спектрально-параметричним описом для кожної трансформанти $Y(t; \delta)$ будується два вектори $L(t; \delta)$ та $S(t; \delta)$ кожен за окремим параметром відповідної ССБП

$$Y(t; \delta) \rightarrow P(t; \delta) = \{L(t; \delta); S(t; \delta)\}.$$

Такі векторні $L(t; \delta)$ та $S(t; \delta)$ сукупності можна обробляти, як:

- в сукупності двох пар для кожної ССБП;
- за окремими векторами кожного параметру.

Однак такі підходи не враховують між-трансформантні особливості, які можуть мати окреслений характер в групі $P(\delta)_T$ суміжних зображень $P(t; \delta)$. Тому для організації обліку особливостей серед трансформант $P(t; \delta)$ в групі необхідно побудувати масиви $L(\delta)$ та $S(\delta)$ за окремими параметричними векторами СППР опису трансформант:

$$L(\delta) = \{ \ell(t; \delta)_\alpha \}_{\alpha=\overline{1, n(t; \delta)_{sb}}; t=\overline{1, T}};$$

$$S(\delta) = \{ s(t; \delta)_\alpha \}_{\alpha=\overline{1, n(t; \delta)_{sb}}; t=\overline{1, T}};$$

де T – кількість трансформант у групі; $n(t; \delta)_{sb}$ – кількість СБП у t -й трансформанті за її СППР опису (або довжина відповідних параметричних векторів $L(t; \delta)$ та $S(t; \delta)$).

Але тоді виникають колізії стосовно вирівнювання довжин $n(t; \delta)_{sb}$ таких параметричних векторів $L(t; \delta)$ та $S(t; \delta)$ в групі $P(\delta)_T$ трансформант.

Дійсно, довжини $n(t; \delta)_{sb}$ параметричних векторів трансформант залежать від складності перерозподілу енергетичних складових між низько- та високочастотними компонентами.

Тому для уникнення таких колізій виконується процедура узгодження трансформант за особливостями їх СППР опису. Для цього виконується перерозподіл трансформант по кластерах $\Omega(\delta; \lambda)$. Кожен кластер $\Omega(\delta; \lambda)$ включає тільки такі трансформанти

$P(\xi; \delta; \lambda)$, для яких розміри $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ їх параметричних векторів $L(\xi; \delta; \lambda)$, $S(\xi; \delta; \lambda)$ у СППР описі будуть однаковими, тобто:

$$n(t; \delta)_{sb} = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} = const.$$

Після чого будується Λ кластерів $\Omega(\delta; \lambda)$. Потужність $|\Omega(\delta; \lambda)|$ кожного λ -го кластеру дорівнює $n(\delta; \lambda)_{tr} = |\Omega(\delta; \lambda)|$.

В результаті для масивів $L(\delta; \lambda)$ та $S(\delta; \lambda)$:

$$L(\delta; \lambda) = \{ \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \}_{\alpha=\overline{1, n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}}; \xi=\overline{1, n(\delta; \lambda)_{tr}}};$$

$$S(\delta; \lambda) = \{ s(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \}_{\alpha=\overline{1, n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}}; \xi=\overline{1, n(\delta; \lambda)_{tr}}};$$

параметричних векторів $L(\xi; \delta; \lambda)$, $S(\xi; \delta; \lambda)$ СППР трансформант одного λ -го кластеру забезпечується усунення колізій. Тоді можна обліковувати їх особливості. Такі особливості пропонується враховувати наступним чином:

- знаходження нижньої межі $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha)$ інтервалу розмаху варіант за напрямком рядків $L(\delta; \lambda)_\alpha$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha$ побудованих двовимірних масивів $L(\delta; \lambda)$ та $S(\delta; \lambda)$;
- скорочення інтервалу $diap(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, $diap(S(\delta; \lambda)_\alpha)$ розмаху варіант в стовпцях $L(\xi; \delta; \lambda)$, $S(\xi; \delta; \lambda)$ двовимірних параметричних масивів $L(\delta; \lambda)$ та $S(\delta; \lambda)$ на величину нижньої межі $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha)$ у відповідних рядках.

Тобто

$$diap(L(\delta; \lambda)_\alpha) = |L(\delta; \lambda)_\alpha| = \mathop{pow}_{\ell(i; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\delta; \lambda)_\alpha} \{ \ell(i; \delta; \lambda)_\alpha \} - \min(L(\delta; \lambda)_\alpha);$$

$$diap(S(\delta; \lambda)_\alpha) = |S(\delta; \lambda)_\alpha| = \mathop{pow}_{sign(i; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\delta; \lambda)_\alpha} \{ sign(i; \delta; \lambda)_\alpha \} - \min(S(\delta; \lambda)_\alpha);$$

$$\min(L(\delta; \lambda)_\alpha) = \min_{1 \leq i \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{ \ell(i; \delta; \lambda)_\alpha \};$$

$$\min(S(\delta; \lambda)_\alpha) = \min_{1 \leq i \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{ sign(i; \delta; \lambda)_\alpha \};$$

де $\alpha = \overline{1, n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}}$.

Тоді досягається додаткове скорочення кількості надмірності. Дійсно, за таких умов скорочується кількість $I(P(i; \delta; \lambda))$ інформації для трансформанти $P(i; \delta; \lambda)$ у СППР описі після її кластеризації та обліку залежностей по слайсам. В загальному випадку кількість $I(P(i; \delta; \lambda))$ інформації визначається розмахам інтервалів для варіант параметричних векторів $\bar{L}(i; \delta; \lambda)$, $\bar{S}(i; \delta; \lambda)$:

$$I(P(i; \delta; \lambda)) = n(i; \delta; \lambda)_{sb} \times (\log_2 diap(L(\delta; \lambda)_\alpha) + \log_2 diap(S(\delta; \lambda)_\alpha))$$

або

$$I(P(i; \delta; \lambda)) = n(i; \delta; \lambda)_{sb} \times (\log_2(\mathop{pow}_{\ell(i; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\delta; \lambda)_\alpha} \{ \ell(i; \delta; \lambda)_\alpha \} - \min(L(\delta; \lambda)_\alpha)) + \log_2(\mathop{pow}_{sign(i; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\delta; \lambda)_\alpha} \{ sign(i; \delta; \lambda)_\alpha \} - \min(S(\delta; \lambda)_\alpha))).$$

Це в свою чергу дозволяє оцінити кількість $I(\text{loc}(i; \delta; \lambda))$ інформації в одній ССБП $s(i; \delta)_\alpha$:

$$\begin{aligned} I(\text{loc}(i; \delta; \lambda)) &= I(P(i; \delta; \lambda))/n(i; \delta; \lambda)_{sb} = \\ &= \log_2 \text{diap}(L(\delta; \lambda)_\alpha) \cdot \log_2 \text{diap}(S(\delta; \lambda)_\alpha). \end{aligned}$$

Отримане співвідношення надає можливість оцінити кількість інформації з обліком додаткових залежностей в слайсах двовимірних параметричних масивів СППР опису кластеру. Тут таке зумовлено звуженням інтервалу розмаху $\text{diap}(\bar{L}(i; \delta; \lambda))$, $\text{diap}(\bar{S}(i; \delta; \lambda))$ варіант $\ell(i; \delta; \lambda)_\alpha$, $\text{sign}(i; \delta; \lambda)_\alpha$. Тому стає можливою ситуація усунення відповідної надмірності. Оцінка кількості $r(i; \delta; \lambda)$ такої надмірності відносно ситуацій до та після обліку обмежень за напрямками слайсів обчислюється так:

$$\begin{aligned} r(i; \delta; \lambda) &= \\ &= 100 \cdot \left(1 - \frac{\log_2 \text{diap}(\bar{L}(i; \delta; \lambda)) \cdot \text{diap}(\bar{S}(i; \delta; \lambda))}{\log_2 \text{diap}(L(i; \delta; \lambda)) \cdot \text{diap}(S(i; \delta; \lambda))} \right) \% ; \\ & \quad r(i; \delta; \lambda) > 0. \end{aligned}$$

Можна заключити, що на основі оцінки рівня інформативності трансформант кластеру в СППР, які представлено з врахуванням інтервалів розмаху варіант, показана можливість додаткового зниження надмірності.

Тому існує потреба у розробці методу стиснення двовимірних параметричних масивів трансформант кластерів з врахуванням особливостей в їхніх групах.

2 Розробка методу локально-монотонного визначення довжини двійкових блочних кодів кластеризованих трансформант за структурними складовими їхнього спектрально-параметричного опису

Простір, який утворюється після обліку особливостей за напрямком слайсів двовимірних параметричних масивів в межах кластерів, називається нормованим. Варіанти $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ нормованого простору за кожною параметричною характеристикою СППР опису трансформант обчислюються за диференційною схемою. В цьому допомагають вирази:

$$\begin{aligned} \bar{\ell}(i; \delta; \lambda)_\alpha &= \ell(i; \delta; \lambda)_\alpha - \min(L(\delta; \lambda)_\alpha); \\ \overline{\text{sign}}(i; \delta; \lambda)_\alpha &= \text{sign}(i; \delta; \lambda)_\alpha - \min(S(\delta; \lambda)_\alpha). \end{aligned}$$

Після такого нормування формуються компоненти $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)$, $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)$ СППР опису трансформант з меншим на значення $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha)$ величиною розмаху варіант:

$$\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)} = \{ \bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \}_{\xi=1, |\Omega(\delta; \lambda)|};$$

$$\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)} = \{ \overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \}_{\xi=1, |\Omega(\delta; \lambda)|}.$$

Для усунення надмірності потрібно облікувати особливості слайсів кластерів в процесі обчислення вагових коефіцієнтів. Окрім того, для збільшення рівня стиснення пропонується формувати коди одразу для кожного параметричного вектору. Такі коди відносяться до класу блочних кодів. Звідси під час кодування будемо будувати блочно-параметричні коди $C_{\bar{L}}(i; \delta; \lambda)$ та $C_{\bar{S}}(i; \delta; \lambda)$. Таке кодування проводиться окремо в межах кожного λ -го кластеру для $i = 1, n(\delta; \lambda)_{tr}$:

$$\begin{aligned} C_{\bar{L}}(i; \delta; \lambda) &= \\ &= \text{binar}_{V_{\bar{L}}(i; \delta; \lambda)} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(i; \delta; \lambda)_{sb}} \bar{\ell}(i; \delta; \lambda)_\alpha \cdot \psi(\bar{\ell}(i; \delta; \lambda))_\alpha \right) = \\ &= \text{binar}_{V_{\bar{L}}(i; \delta; \lambda)} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(i; \delta; \lambda)_{sb}} \bar{\ell}(i; \delta; \lambda)_\alpha \times \right. \\ & \quad \left. \times \text{diap}(\bar{L}(i; \delta; \lambda)^{(1)})^{n(i; \delta; \lambda)_{sb} - \alpha} \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\bar{S}}(\xi; \delta; \lambda) &= \\ &= \text{binar}_{V_{\bar{S}}(\xi; \delta; \lambda)} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(i; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{\text{sign}}(i; \delta; \lambda)_\alpha \cdot \psi(\overline{\text{sign}}(i; \delta; \lambda))_\alpha \right) = \\ &= \text{binar}_{V_{\bar{S}}(\xi; \delta; \lambda)} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(i; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{\text{sign}}(i; \delta; \lambda)_\alpha \times \right. \\ & \quad \left. \times \text{diap}(S(i; \delta; \lambda)^{(1)})^{n(i; \delta; \lambda)_{sb} - \alpha} \right). \end{aligned}$$

Відповідно для кожного кластеру будуються дві кодові послідовності $C_{\bar{L}}(\delta; \lambda)$ та $C_{\bar{S}}(\delta; \lambda)$ за кожним з параметричних векторів СППР опису трансформанти $P(\xi; \delta; \lambda)$. Тоді для λ -го кластеру маємо:

$$P(\delta; \lambda);$$

$$C_{\bar{L}}(\delta; \lambda) =$$

$$\{ C_{\bar{L}}(1; \delta; \lambda); \dots; C_{\bar{L}}(i; \delta; \lambda); \dots; C_{\bar{L}}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda) \};$$

$$C_{\bar{S}}(\delta; \lambda) =$$

$$\{ C_{\bar{S}}(1; \delta; \lambda); \dots; C_{\bar{S}}(i; \delta; \lambda); \dots; C_{\bar{S}}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda) \}.$$

Отримав подальший розвиток метод стиснення зображень на основі блочного кодування параметричних векторів СППР опису трансформанти в межах окремих кластерів з нормуванням варіант. Метод будувється з обчисленням ваги з обліком обмеження на інтервали зміни значень відповідних компонент в напрямку спектрально-параметричних слайсів (СПС).

Ключовим питанням щодо забезпечення рівня стиснення та достовірності відновлених даних постає **створення стратегії визначення** кількості біт на довжини $V(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $V(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант (СПОТ) для $\lambda = \bar{1}, \bar{\Lambda}$.

В процесі побудови стратегії кодового визначення необхідно враховувати:

– з одного боку однорідність структурних складових СПОТ для послідовності трансформант кожного кластеру в напрямку відповідних СПС слайсів $\bar{L}(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, $\bar{S}(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$;

– з іншого боку можливість проявлення неоднорідності значень компонент $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ в напрямку відповідних структурних складових $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ кожної СПОТ.

Звідси можливі наступні варіанти кодового визначення за величинами $V(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $V(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$, а саме:

1. Перший варіант – визначення величин $V(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $V(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ за принципом мінімально-достатньої кількості біт на представлення величин $[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$ та $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}^{(1)}$ в двійковому описі, тобто:

$$V_1(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}] + 1;$$

$$V_1(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}] + 1.$$

В той же час такий варіант не враховує нерівномірність величин $[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$ та $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}^{(1)}$ для різних трансформант кластеру.

2. Другий варіант – використання для кодового визначення особливості формування ваги $\psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha$ та $\psi(\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha$ за позиційним правилом. Таке правило полягає у наявності верхньої межі для величин $[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$ та $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}^{(1)}$, що визначається відповідно за величинами $diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$, $diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$. Тоді для другого варіанту довжини $V_2(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $V_2(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ знаходяться за формулами:

$$V_2(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2 diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)});$$

$$V_2(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2 diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}).$$

Однак такий варіант не враховує можливі варіанти, коли мінімально-достатня кількість біт буде значно меншою ніж кількість біт, що встановлюється за позиційним правилом, тобто:

$$V_1(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) \lll n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2 diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)});$$

$$V_1(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) \lll n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2 diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}).$$

В цьому випадку кодове визначення за другим варіантом призводить до виникнення кількості кодової надмірності. Тому для виключення такого недоліку **пропонується** використовувати третій варіант побудови стратегії кодового визначення.

3. Третій варіант – кодове визначення будується на основі **технології локально-монотонного кодоутворення**. Суть такої технології полягає у використанні маркерів $diap(V(\bar{L}(\delta; \lambda)))$ та $diap(V(\bar{S}(\delta; \lambda)))$, які несуть інформацію щодо довжини $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$. При цьому довжини $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ та $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ встановлюються за правилом локальної монотонності, тобто

$$V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{V_1(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))\};$$

$$V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{V_1(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))\}.$$

Відповідно кожний маркер буде містити таку інформацію:

$$diap(V(\bar{L}(\delta; \lambda))) := V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda));$$

$$diap(V(\bar{S}(\delta; \lambda))) := V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)).$$

При цьому на двійкове представлення самих маркерів виділяється кількість $|diap(V(\bar{L}(\delta; \lambda)))|$, $|diap(V(\bar{S}(\delta; \lambda)))|$ біт за одним з наступних принципів:

1) принцип врахування найбільших значень $\max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ та $\max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ для величин $diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$, $diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ за всіма структурними складовими СПОТ в кластері, тобто:

$$|diap(V(\bar{L}(\delta; \lambda)))| = \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} V_2(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)),$$

$$|diap(V(\bar{S}(\delta; \lambda)))| = \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} V_2(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda));$$

2) принцип рівномірного коду. В цьому випадку кількість V_{mar} біт для двійкового опису маркерів є однаковою та постійною в процесі обробки загальної послідовності відеофрагментів. Звідси маємо:

$$|diap(V(\bar{L}(\delta; \lambda)))| = |diap(V(\bar{S}(\delta; \lambda)))| = V_{mar};$$

3) адаптивний принцип. Суть даного підходу полягає у виборі біткової довжини маркерів $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L$, $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S$ окремо для кожної структурної складової $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ СПОТ в залежності від кількості $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ локальних компонент (ЛКМ) для поточного λ -го кластеру. Тут використовуються такі вирази:

$$V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2(n^2 - n(\xi; \delta; \lambda)_{sb});$$

$$V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot b_y.$$

Звідси:

$$|diap(V(\bar{L}(\delta; \lambda))| = V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L;$$

$$|diap(V(\bar{S}(\delta; \lambda))| = V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S.$$

Такий підхід дозволяє:

– відносно першого принципу скоротити кількість службової інформації та обчислювальних дій на визначення бітової довжини маркерів для кожного кластеру;

– відносно другого принципу зменшити кількість біт на представлення маркерів двійкових блочних кодів кожного кластеру.

Зрозуміло, що в цьому випадку кількість біт на двійковий опис маркерів обирається адаптивно в залежності від структурної ознаки кожного кластеру.

Тому **пропонується** формувати локальні маркери для кожного кластеру. Функціональне призначення маркерів полягає у розмежуванні меж:

– кодових конструкцій $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ структурних складових $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ окремих трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$ в загальному потоці кластеру;

– кодових конструкцій $C(\bar{L}(\delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\delta; \lambda))$ для суміжних кластерів.

Розглянемо узагальнений кодовий опис послідовності $P(\delta)_T$ трансформант $P(t; \delta)$. Загальна кодова конструкція $C(\delta)_T$ для послідовності трансформант $P(\delta)_T$ з використанням розробленої технології кодування включає до себе службову $C_{sec}(\delta)_T$ та інформативну $C_{inf}(\delta)_T$ частини:

$$C(\delta)_T = C_{sec}(\delta)_T + C_{inf}(\delta)_T.$$

Тут потрібно врахувати кластерну структуру створеного процесу кодування послідовності відеофрагментів. Звідси маємо:

1) для службової частини $C_{sec}(\delta)_T$ загальної кодової послідовності $C(\delta)_T$ відносяться такі відомості:

маркер λ кластеру трансформант, які є однорідними за кількістю $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ ЛКМ в своєму спектрально-параметричному описі;

кількість $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ ЛКМ (або кількість ССПП) в кожному кластері вони же використовуються, як маркери трансформант щодо належності її до певного кластеру;

маркери $M(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $M(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$, які несуть інформацію щодо кількості $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ біт блочних кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ та $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ кожного кластеру;

довжини $diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ та $diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ інтервалів визначеності значень компонент в структурних складових $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ та $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ кожної СПОТ $P(\xi; \delta; \lambda)$ для λ -го кластеру;

нижні межі $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ інтервалів визначеності компонент $\bar{l}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\bar{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ за напрямками відповідних СПС слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ кластерів;

параметр δ стратегії квантування масива спектральних компонент;

2) для інформаційної частини $C_{inf}(\delta)_T$ загальної кодової послідовності $C(\delta)_T$. Для кожної трансформанти λ -го кластеру відповідно до їхніх структурних складових будується два блочних коди: $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}$ та $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}$. Тоді для всієї послідовності $P(\delta; \lambda)$ трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$ в спектрально-параметричному описі за всіма кластерами будується дві послідовності $C(\bar{L}(\delta; \Lambda))$, $C(\bar{S}(\delta; \Lambda))$ двійкових блочних кодів відповідно до структурних складових:

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

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

3 Оцінка бітового об'єму стислих зображень з використанням розробленої та існуючих технологій

Значна сукупність існуючих технологій стиснення використовує принцип кодування окремих сегментів. Тому для більш адекватного порівняння характеристик різних методів необхідно для створеного методу визначати усереднене значення бітового об'єму трансформанти в СПОТ. Будемо позначати таку величину, як $V(\delta)_1$:

$$V(\delta)_1 = \frac{V(\delta)_T}{T}.$$

Оцінка рівнем r_{cmp} стиснення за проведеними експериментальними дослідженнями надається на Рис. 1. На цьому рисунку відображається залежність величини r_{cmp} від параметру $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ кластеризації сукупності трансформант при заданому рівні δ пікового відношення сигнал/шум. Параметр $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ визначає кількість спектральних субполос (ССП) в СПОТ-трансформанті. Його значення в загальному випадку залежать від:

- рівня насиченості початкових зображень дрібними деталями;
- рівня нормованого коефіцієнту r кореляції;
- режиму квантизації трансформант до початку побудови СПОТ.

Оцінка, яка наведена на Рис. 1, будується в залежності від:

- 1) параметрів СПОТ-трансформант за кількістю $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ ССП. Пропонується використовувати такі інтервали для значень параметру $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$:
 - значущі за структурою СПОТ – $14 \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$;
 - складні за структурою СПОТ – $6 \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \leq 13$;

– прості за структурою СПОТ – $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \leq 5$;
 2) параметрів стратегії квантування. Вибір параметрів організується в двох режимах, а саме коли забезпечується рівень пікового відношення сигнал/шум (ПВСШ) $\delta = 27$ дБ та $\delta = 37$ дБ.

Порівняльна оцінка за рівнем r_{cmp} стиснення проводиться для двох методів: створеного методу стиснення послідовності СПОТ трансформант (ССПО) та існуючих методів на основі конвеєра JPEG. Для порівняння обираються дві реалізації конвеєра JPEG:

– JPEG₁ – з використанням відомих на передавальній та приймальних сторонах статичних таблиць статистичних кодів нерівномірного префіксного кодування параметрів СПОТ;

– JPEG₂ – з використанням динамічної реалізації нерівномірного префіксного коду на основі арифметичного кодування.

Вибір для порівняння таких технологій пояснюється таким чином:

– використовуються типові механізми попереднього перетворення: трансформування на основі дискретного косинусного перетворення; побудова компонент спектрально-параметричного опису трансформант;

– забезпечується стиснення в режимі контрольованих втрат якості візуального сприйняття розтиснутих зображень;

– застосовуються стратегії квантування з регульованими параметрами для зміни рівня ПВСШ;

– забезпечується режим симетричних перетворень, коли кількість операцій на стискування знаходиться на одному рівні з кількістю операцій на відновлення.

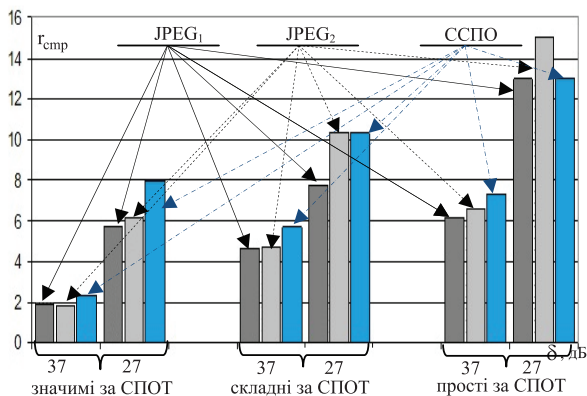


Рис. 1. Діаграми залежності r_{cmp} від параметру $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ СПОТ для реалізацій JPEG та ССПО у разі $\delta = 27$ дБ та $\delta = 37$ дБ

З аналізу діаграм на Рис. 1 можна зробити висновки:

1) для значущих за СПОТ трансформант (великі значення параметру $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$) з параметрами квантування, що формують рівень ПВСШ від 27 до 37 дБ перевага за коефіцієнтом стиснення досягається для розробленого методу ССПО. Виграш

щодо методів, з якими проводиться порівняння, в залежності від рівня ПВСШ становить: JPEG₁ – від 15 до 21%; JPEG₂ – від 14 до 18%;

2) технологія ССПО може забезпечувати перевагу від 11 до 15% по формуванню стислого зображення на рівні 37 дБ для різної кількості спектральних субполос у спектрально-параметричному описі трансформант.

Такі результати обумовлені такими причинами:

– для значущих за структурою СПОТ спостерігається, що статистичні властивості трансформант є нестационарними та різко змінюються в послідовності. Це знижує ефективність технологій статистичного кодування. Тут для технології JPEG₁ може статися деградація характеристики стиснення. Цьому сприяє збільшення кількості локальних компонент у описі СПОТ;

– у разі зростання ПВСШ статистичні властивості компонент трансформант вирівнюються. Закон розподілу ймовірностей появи компонентів прагне до рівномірного, і скорочується кількість нульових компонентів.

Висновки

1. Створено метод локально-монотонного кодового визначення для двійкових блочних кодів в диференційно-нормованому просторі структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант з використанням маркерів рівномірної довжини. В основі методу лежить система маркерування двійкових блочних кодів складових СПОТ на основі визначення інтервалів області визначення аргументів функцій блочного кодування. Це дозволяє забезпечити потрібний рівень цілісності відновлених відеофрагментів на основі створення умов щодо взаємно однозначного перетворення процесів формування кодограм.

2. Розроблено метод кодування маркерів довжин двійкових блочних кодів складових СПОТ. В основі методу лежить адаптивний принцип, який полягає у виборі бітової довжини маркерів послідовності кодів кластеру окремо для кожної структурної складової СПОТ в залежності від їх потужності. Такий підхід дозволяє:

– скоротити кількість службової інформації та обчислювальних дій на визначення бітової довжини маркерів для кожного кластеру;

– зменшити кількість біт на представлення маркерів двійкових блочних кодів кожного кластеру.

Наукова новизна.

Вперше створено метод маркування двійкових блочних кодів на основі локально-монотонного підходу. Відмінності методу стосуються того, що двійкове блочне кодове визначення здійснюється за локально-монотонним підходом з врахуванням диференційно-нормованого простору структурних

складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант. Це забезпечує скорочення кількості надмірності в сукупності трансформант кластерів без втрат їх цілісності.

Вперше створено метод кодування маркерів двійкових блочних кодів на основі врахування структурних особливостей складових СПОТ. Відмінності методу стосуються того, що визначення довжини кодограми маркеру здійснюється адаптивно в залежності від структурної ознаки кластеру. Це дозволяє забезпечити достатню умову для досягнення потрібного рівня синтаксичної цілісності відеофрагментів в процесі їх відновлення.

3. Здійснено оцінку кількості біт, що витрачається на кодограму стислого представлення послідовності кластеризованих СПОТ-трансформант на основі створеного методу. Така оцінка проводиться в залежності від параметру кластеризації сукупності трансформант при заданому рівні пікового відношення сигнал/шум. Оцінка показує таке:

1) витрати кількості біт на окрему стислу СПОТ-трансформанту в залежності від значення параметру $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ приймають такі значення:

– для режиму квантування з параметрами, що забезпечує $\delta = 37$ дБ від 68 до 227 біт/трансформанта;

– для режиму квантування з параметрами, що забезпечує $\delta = 27$ дБ від 35 до 60 біт/трансформанта;

2) реалізація стратегії квантування дозволяє додатково знизити витрати кількості біт на стислу СПОТ-трансформанту. Збільшення рівня квантування, завдяки якому рівень ПВСШ зменшується на 10 дБ з $\delta = 37$ дБ до $\delta = 27$ дБ, дозволяє скоротити кількість біт на стислу СПОТ-трансформанту в середньому від 1,5 до 3,7 разів.

4. Порівняльна оцінка по коефіцієнту стиснення для розробленого та існуючих методів виявила:

– для значущих за СПОТ трансформант з параметрами квантування, що формують рівень ПВСШ від 27 до 37 дБ перевага за коефіцієнтом стиснення досягається для розробленого методу ССПО. Виграш щодо методів, з якими проводиться порівняння, в залежності від рівня ПВСШ становить: JPEG₁ – від 15 до 21%; JPEG₂ – від 14 до 18%;

– технологія ССПО може забезпечувати перевагу від 11 до 15% по формуванню стислого зображення на рівні 37 дБ для різної кількості спектральних субполос у спектрально-параметричному описі трансформант.

References

- [1] Hamano, G., Imaizumi, S., Kiya, H. (2022). Image Classification Using Vision Transformer for EtC Images. *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, pp. 1503–1510. DOI: 10.23919/APSIPAASC55919.2022.9980144.
- [2] Li, F., Krivenko, S., Lukin, V. (2020). Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi [Radioelectronic and computer systems]*, Vol. 2(94), pp. 22-32. DOI: 10.32620/rebs.2020.2.02.
- [3] Kurihara, K., Kikuchi, M., Imaizumi, S., Shiota, S., Kiya, H. (2015). An Encryption-then-Compression System for JPEG/Motion JPEG Standard. *IEICE Trans. Fundam.*, Vol. E98-A, pp. 2238–2245. doi: 10.1587/transfun.E98.A.2238.
- [4] Wei Tang, Heng Yao, Yanfen Le, Chuan Qin. (2023). Reversible data hiding for JPEG images based on block difference model and Laplacian distribution estimation. *Signal Processing*, Vol. 212, 109130. doi: 10.1016/j.sigpro.2023.109130.
- [5] Yang Du, Zhaoxia Yin. (2022). New framework for code-mapping-based reversible data hiding in JPEG images. *Information Sciences*, Vol. 609, pp. 319-338. doi: 10.1016/j.ins.2022.07.071.
- [6] School of Electronic Engineering and Computer Science. ECS605U/ECS776P – Image Processing. <http://www.eecs.qmul.ac.uk/phao/IP/Images/>.
- [7] Qian Z., Zhang X. (2012). Lossless data hiding in JPEG bitstream. *Journal of Systems and Software*, Vol.85, Iss. 2, pp. 309-313. doi: 10.1016/j.jss.2011.08.015.
- [8] Miano J. (1999). *Compressed image file formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 264 p.
- [9] Joint Photographic Experts Group (JPEG). Information technology – digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines. ISO/IEC 10918-1:1994, ITU/CCITT Recommendation T. 81. 1992–2017. 182 p.
- [10] Zhao Y., Wang Y., Qin C. (2023). Lossless data hiding for JPEG image with optimized Huffman table. *Signal Processing*, Vol. 205, 108891. doi: 10.1016/j.sigpro.2022.108891.
- [11] Cisco Visual Networking Index : Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022. (2019). *Cisco*. 33 p.
- [12] Hou D., Wang H., Zhang W., Yu N. (2018). Reversible data hiding in JPEG image based on DCT frequency and block selection. *Signal Processing*, Vol. 148, pp. 41-47. doi: 10.1016/j.sigpro.2018.02.002.
- [13] 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.
- [14] He J., Pan X., Wu H.-T., Tang S. (2020). Improved block ordering and frequency selection for reversible data hiding in JPEG images. *Signal Processing*, Vol. 175, 107647. doi: 10.1016/j.sigpro.2020.107647.
- [15] Rippel O. and Bourdev L. (2017). Real-time adaptive image compression. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*, Vol. 70, pp. 2922-2930.
- [16] Weng S., Zhou Y., Zhang T., Xiao M., Zhao Y. (2023). Reversible Data Hiding for JPEG Images With Adaptive Multiple Two-Dimensional Histogram and Mapping Generation. *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 25, pp. 8738–8752. doi: 10.1109/TMM.2023.3241541.

- [17] Ieremeiev, O., Lukin, V., Okarma, K. (2020). Combined visual quality metric of remote sensing images based on neural network. *Radioelectronic and computer systems*, Vol. 4, pp. 4-15. DOI: 10.32620/reks.2020.4.01.
- [18] Li Z., Ramos A., Li Z., Osborn M. L., Zaid W., et al. (2023). Nearly-lossless-to-lossy medical image compression by the optimized JPEGXT and JPEG algorithms through the anatomical regions of interest. *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 83, 104711. doi: 10.1016/j.bspc.2023.104711.
- [19] Barannik V. (2022). Technology of Structural-Binomial Coding to Increase the Efficiency of the Functioning of Computer Systems. *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, pp. 96-100. doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024205.
- [20] Kumar P., Parmar A. (2020). Versatile Approaches for Medical Image Compression: A Review. *Procedia Computer Science*, Vol. 167, pp. 1380-1389. doi: 10.1016/j.procs.2020.03.349.
- [21] Barannik V., Hahanova A., Slobodyanyuk A. (2009). Architectural presentation of isotopic levels of relief of images. *2009 IEEE 10th International Conference on Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, pp. 385-387.
- [22] Issa, O.; Shanableh, T. (2023). Static Video Summarization Using Video Coding Features with Frame-Level Temporal Subsampling and Deep Learning. *Appl. Sci.*, Vol. 13(10), 6065. doi: 10.3390/app13106065.
- [23] Gonzalez R., Woods R. (2018). *Digital Image Processing*. Published by Pearson, 1168 p.
- [24] Juliet, S., Rajasingh, E. B. & Ezra, K. (2016). A novel medical image compression using Ripplet transform. *Journal of Real-Time Image Processing*, Vol. 11(2), pp. 401-412. doi: 10.1007/s11554-013-0367-9.
- [25] Gore A, Gupta S. (2015). Full reference image quality metrics for JPEG compressed images. *AEU – International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 69, Iss. 2, pp. 604-608. DOI: 10.1016/j.aeue.2014.09.002.
- [26] Park J., Johnson J. (2023). RGB No More: Minimally-Decoded JPEG Vision Transformers. *2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 22334-22346. doi: 10.48550/arXiv.2211.16421.
- [27] Li, Y.; Zhu, H.; He, L.; Wang, D.; Shi, J.; Wang, J. (2023). Video Super-Resolution with Regional Focus for Recurrent Network. *Appl. Sci.*, Vol. 13(1), 526. doi: 10.3390/app13010526.
- [28] Testolina M., Hosu V., Jenadeleh M., Lazzarotto D., Saupe D., et al. (2023). JPEG AIC-3 Dataset: Towards Defining the High Quality to Nearly Visually Lossless Quality Range. *2023 15th International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pp. 55-60. doi: 10.1109/QoMEX58391.2023.10178554.
- [29] Minemura K., Moayed Z., Wong K., et al. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. *Image Processing: 19th IEEE International Conference*, pp. 261-264. DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466845.
- [30] Barannik D. and Barannik V. (2022). Steganographic Coding Technology for Hiding Information in Infocommunication Systems of Critical Infrastructure. *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, pp. 88-91. doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.
- [31] Alakuijala J., Boukourt S., Ebrahimi T., Kliuchnikov E., Sneyers J., Upenik E., et al. (2020). Benchmarking JPEG XL image compression. *Optics Photonics and Digital Technologies for Imaging Applications VI*, SPIE, Vol. 11353, pp. 187-206. doi: 10.1117/12.2556264.
- [32] Barannik V., Barannik N., Ignatyev O., Khimenko V. (2021). Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 4, pp. 119-131. doi: 10.32620/reks.2021.4.10.
- [33] Barannik V., Babenko Y., Barannik V., Khimenko A., Kulitsa O., Matviichuk-Yudina O. (2020). 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, pp. 52-56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [34] Testolina M., Ebrahimi T. (2021). Review of subjective quality assessment methodologies and standards for compressed images evaluation. *Applications of Digital Image Processing XLIV*, SPIE, Vol. 11842, pp. 302-315. doi: 10.1117/12.2597813.
- [35] Cheng Z., Akyazi P., Sun H., Katto J. and Ebrahimi T. (2019). Perceptual Quality Study on Deep Learning Based Image Compression. *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 719-723. DOI: 10.1109/ICIP.2019.8803824.
- [36] Krasnorutsky A., Onyshchenko R., Barannik D. and Barannik V. (2022). 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)*, pp. 53-56. doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.

Method Local-Monotonic Determination Lengths of Binary Block Codes of Clustered Transformants

Barannik V. V., Eliseev E. S., Babenko M. V., Tsimura Y. V., Khudaiev O. V., Sinenko D. V., Dubovyk H. V., Nemynushchyy S. V., Onypchenko P. M.

Modern services for providing various types of information are associated with the generation of vast volumes of traffic that need to be transmitted via telecommunication networks. A significant portion of this traffic is composed of video data streams. Certain requirements are set for the quality of such information, including timely delivery, accuracy, visual perception quality, and the quality of structural component transmission in monitoring objects. As a result, data compression methods are implemented in information processing systems. Several families and versions of standardized approaches to compression have already been developed. However, the need for analyzing video data generated by remote sensors is increasingly evident. This creates a contradiction between such metrics as the timeliness of video transmission and its accuracy (quality of visual perception of the restored video images). Thus, a pertinent scientific and practical challenge lies in further improving video data compression methods to mitigate the conflict between these key metrics. The greatest interest is in

metrics like the level of compression and the distortions in the digitized video image descriptions (measured by the peak signal-to-noise ratio, or PSNR). However, these metrics tend to exhibit inverse dependency, meaning that increasing the compression level often leads to a decrease in video quality. Consequently, the need to address this contradiction has prompted the development of a range of different image compression methods. Nevertheless, a common drawback of existing compression methods is that specified compression levels are often achieved in image quality modes that exhibit artifacts, contour distortions, and degradation of fine details. Therefore, for the further advancement of compression methods, it is proposed to choose an approach that involves controlled distortion of video quality. One potential direction for this approach is to utilize preprocessing in the spectral domain of video image fragments. Hence, the aim of this study is to develop compression methods with controlled levels of quality distortion based on preprocessing in the spectral domain. This article presents the main stages in developing a method for locally monotonic code determination

for binary block codes in a differential-normalized space of structural components of clustered transformants in the spectral-parametric description (SPOT) using uniform-length markers. The method is based on a system for marking binary block codes of SPOT components by establishing interval domains for the arguments of block coding functions. This approach ensures the required integrity level of restored video fragments by creating conditions for the mutually unambiguous transformation of code formation processes. A comparative assessment of the compression ratio for the developed and existing methods revealed that, for significant SPOT transformants with quantization parameters forming PSNR levels from 27 to 37 dB, the developed method demonstrates an advantage in the compression ratio. Depending on the PSNR level, the gain over the methods used for comparison ranges from 14% to 21%.

Keywords: video images; spectral-parametric description of transformants; video image quality; locally monotonic coding; block code markers; peak signal-to-noise ratio (PSNR)