

DOI: 10.18372/2310-5461.63.18971

УДК 004.622: 517.927

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
orcid.org/0000-0002-2848-4524
e-mail: vvbar.off@gmail.com;

Є. С. Єлісєєв
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0002-0953-4397
e-mail: paradox0670@gmail.com;

Ю. В. Цімура
Військового інституту телекомунікацій та
інформатизації імені Героїв Крут
orcid.org/0000-0002-6269-3821
e-mail: tsimur@ukr.net;

М. В. Бабенко, канд. техн. наук, доцент
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0003-1013-9383
e-mail: mvbab@ukr.net;

В. М. Ушань, канд. техн. наук, доцент
Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
orcid.org/0000-0001-9076-9574
e-mail: pelsh1976@ukr.net

МЕТОД СТИСНЕННЯ КЛАСТЕРИЗОВАНИХ ТРАНСФОРМАНТ НА ОСНОВІ БЛОЧНОГО КОДУВАННЯ З ЛОКАЛЬНО-МОНОТОННИМ ВИЗНАЧЕННЯМ ДОВЖИНИ

Вступ

На даний час розвиток інфокомунікаційних технологій в області цифрової обробки зображень має стрімкий характер [1]. З одного боку це зумовлено значною потребою у використанні таких технологічних рішень в різних прикладних галузях [2; 3]. З іншого боку такий тренд має інформаційно-технологічне та алгоритмічне підґрунтя [4; 5]. Саме потужний розвиток інформаційно-обчислювальної бази, створення нових теоретичних та прикладних методів з інтелектуального аналізу створює можливості для реалізації потреб користувачів в різних галузях на основі використання інформаційних технологій кодування [6].

Одним з прикладів тут є побудова систем прийняття рішень в критичній інфраструктурі [7; 8]. Технологічні рішення щодо кодування та обробки інформації використовуються для забезпечення отримання різних типів інформації [9]. Однак тут виникає ряд складнощів. Вони пов'язані з: виникненням втрат достовірності інформації; нестачею часу для проведення аналізу ін-

формації; перевищення вимог щодо часу отримання інформації [10; 11].

Це вимагає здійснення подальшого вдосконалення методів кодування інформаційних потоків, що відповідно є науково-прикладною задачею, яка розглядається в статті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На даний час створено велика кількість різних стандартів та технологічних рішень щодо кодування джерел інформації [12; 13]. Найбільша частка таких рішень припадає на кодування відеозображень [14; 15]. Це пояснюється:

– значним попитом на відеоінформаційні ресурси з боку користувачів та прикладних додатків [16; 17];

– наявністю великого різноманіття типів та підкласів відеозображень за їх семантичним та топологічним складом [18; 19];

– найбільш значимим впливом на інформаційну інтенсивність трафіку в мережах [20; 21].

В основі більшої частки практично використовуваних кодеків лежить такий конвеєр обробки [22]:

– реалізація попереднього перетворення кольорової моделі зображень до неоднорідної [23];

– ре-конфігурація цифрових масивів на топологічні компоненти [24];

– трансформування топологічних компонент до неоднорідного уявлення [25];

– побудова кодів на основі скорочення просторової надмірності [26].

Відповідно будуються різні версії такого стандартизованого конвеєру. В залежності від цього окреслюються різні технологічні рішення [27]. Найбільш часто використовуються такі розмежування [28; 29]:

– за розміром топологічних сегментів масивів-складових зображень (макро-фрагменти, фрагменти та мікрофрагменти) [30; 31];

– за підходами щодо визначення розмірів сегментів зображень (стаціонарні розміри, ієрархічно-рівномірна схема знаходження розмірів, ієрархічно-нерівномірна схема окреслення розмірів, схема обчислення розмірів за принципом уточнення з наявністю або без зворотних зв'язків) [31; 32];

– за типами просторів з неоднорідними особливостями (спектральний простір, спектрально-часовий простір, структурний простір) [33];

– за типами функціоналів трансформування до неоднорідних просторів (клас методів ортогональних перетворень, в тому числі дискретно-косинусне перетворення (ДКП), перетворення Хаара, перетворення Уолша-Адамара, клас методів хвильових перетворень на базисах Хаара, Добеши) [29];

– за типами скорочення просторової надмірності (скорочення надмірності: візуального сприйняття, статистичної надмірності) [31].

Але ж не дивлячись на таку кількість різних підходів існуючі методи стиснення не можуть задовольнити потреб, які визначаються сукупністю системних вимог. Це в першу чергу стосується залежності рівня стиснення від алгоритмічної складності та рівня погіршення якості зображень за комплексом візуальних оцінок [27]. Таке дає можливість для висновку щодо потреби удосконалення засобів обробки зображень.

Постановка проблеми

В працях [28–31] розглядається розвиток статистичного кодування в області спектральних перетворень. Тут будується спектрально-параметричний опис рівномірних по розміру мікро-фрагментів зображень. Суть такого підходу полягає у проведенні нерівномірно-последовної суб-дискретизації спектрального простору. Окреслюються нерівномірні за розміром последовності спектральних елементів, які мають обмежений

розмах інтервалів своїх варіант. В трудах [33] пропонується їх називати суб-спектральні полози (ССП). Побудова такого опису приводить до дво-параметричного за складом представлення масивів спектральних елементів. Після чого стиснення зводиться до обліку відповідних просторових особливостей під час скорочення надмірності.

Однак обмеженням для подальшого збільшення стиснення може бути неоднорідність розмірів складових спектрально-параметричного опису (СППР) трансформант. Наприклад, виключається можливість обліку особливостей в групі перетворених мікро-фрагментів.

Звідси виникає потреба щодо узгодження СППР описів для групи перетворених мікро-фрагментів. Для цього пропонується залучити підходи щодо попередньої кластеризації групи перетворених мікро-фрагментів. Кластеризацію пропонується проводити з урахуванням особливостей СППР опису трансформант. Для цього можна використовувати таку ознаку, як розмір складових СППР опису трансформант.

В той же час постає необхідність організації стиснення з урахуванням особливостей однорідності СППР ознак перетворених мікро-фрагментів. Відповідно *мета статті* полягає у розробці методу стиснення кластеризованих трансформант з обліком особливостей їх СППР опису.

Розробка концепції для стиснення структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант на основі двійкового блочного кодування в диференційно-нормованому просторі

В результаті кластеризації групи перетворених мікро-фрагментів будуються кластери $\Omega(\delta; \lambda)$. Кожен кластер включає в себе сукупність трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$, $\xi = 1, n(\delta; \lambda)_{tr}$. Тут $n(\delta; \lambda)_{tr}$ – кількість трансформант у λ -му кластері. Трансформанти λ -го кластеру мають однакові значення розмірів $n(t; \delta)_\lambda$ складових їх СППР опису. Тому такі трансформанти $P(\xi; \delta; \lambda)$ за кожною складовою утворюють двовимірні масиви. Стовпцями таких масивів є складові $L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ їх дво-параметричного СППР опису. Рядками є слайси $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$. Їх особливості обліковують залежності між трансформантами одного кластеру. Такі слайси будуються компонентами:

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

$$S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)} = \{ sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \}_{\xi = 1, n(\delta; \lambda)_{tr}};$$

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

Довжина слайсів $n(\delta; \lambda)_{lr}$ визначається кількістю трансформант у кластері. Кількість слайсів в λ -му кластері визначається його ознакою $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$.

Особливості в слайсах за кожним з параметрів СППР опису зумовлено однорідністю властивостей трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$ кожного кластеру $\Omega(\delta; \lambda)$. Вони проявляються в обмежених інтервалах $diap(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $diap(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ визначеності значень компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ ЛКМ у межах СПС слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ для

$$diap(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}) = |L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}| = \mathop{pow}_{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}} \{ \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \} - \min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \quad (1)$$

$$\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}) = \min_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{lr}} \{ \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \};$$

$$diap(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}) = |S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}| = \mathop{pow}_{sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}} \{ sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \} - \min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \quad (2)$$

$$\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}) = \min_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{lr}} \{ sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \},$$

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

Можна сказати, що облік нижніх меж $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha)$ в слайсах дозволяє уточнити значення варіант $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$. Такі уточнення будемо називати процедурою нормування СППР опису трансформант кожного кластеру.

Взагалі процес встановлення реальних інтервалів визначеності компонент структурних складових СПОТ в напрямку додаткового врахування специфікацій (обмежень інтервалів визначеності) в напрямку СПС слайсів позначатимемо диференційним нормуванням за СПС слайсами.

Відповідно простір компонент структурних складових СПОТ, які при цьому утворюються, визначатимемо диференційно-нормованим простором.

Для приведення значень компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ у відповідність з диференційно-нормованим простором за додатковими обмеженнями $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ використовуються такі вирази:

$$\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha = \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha - \min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \quad (3)$$

$$\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha = sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha - \min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}). \quad (4)$$

Тут $\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ - компоненти складових СПОТ, які представлені в диференційно-нормованому просторі.

λ -го кластеру. Тому потрібно обчислити межі на верхні

$$\mathop{pow}_{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\delta; \lambda)_\alpha} \{ \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \},$$

$$\mathop{pow}_{sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\delta; \lambda)_\alpha} \{ sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \},$$

та нижні

$$\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}), \min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$$

інтервали розмаху відповідних варіант слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$. Це описується наступним чином:

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

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

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

Такі залежності пропонується враховувати в процесі взаємного кодування компонент структурних складових СПОТ. При цьому відповідно до умов (3) та (4) для значень компонент $\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ в напрямку відповідних СПС слайсів існують обмеження, що задаються такими нерівностями:

$$\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \leq diap(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)});$$

$$\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \leq diap(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)});$$

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

Це створює умову для значного обмеження значень компонент $\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ у напрямку складових СПОТ-трансформанти. Відповідно звужується довжини інтервалів визначеності компонент для складових $\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ СПОТ-трансформанти, тобто:

$$\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \leq diap(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \leq diap(L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)});$$

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

Можна сказати, що додаткове усунення кількості надмірності можливе у разі врахування додаткових обмежень на нижню межу інтервалу

значень компонент структурних складових СПОТ в процесі формування їх ваги. Тому для усунення кількості такої надмірності **пропонується** формувати двійковий блочний код $C(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}$ та $C(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}$ для складових СПОТ $P(\xi; \delta; \lambda)$, що належить λ -му кластеру, за наступними правилами:

$$\begin{aligned} C(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)} &= \underset{V(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}}{binar} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \cdot \psi(\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha \right) = \\ &= \underset{V(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}}{binar} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \cdot diap(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1) n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} - \alpha} \right); \\ C(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)} &= \underset{V(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}}{binar} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \cdot \psi(\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha \right) = \\ &= \underset{V(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}}{binar} \left(\sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \cdot diap(S(\xi; \delta; \lambda))^{(1) n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} - \alpha} \right); \\ &\xi = 1, n(\delta; \lambda)_{tr}. \end{aligned}$$

Тоді для послідовності $P(\delta; \lambda)$ трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$ в спектрально-параметричному описі для λ -го кластеру формуються дві послідовності $C(\overline{L}(\delta; \lambda))$, $C(\overline{S}(\delta; \lambda))$ двійкових блочних кодів відповідно до структурних складових:

$$\begin{aligned} C(\overline{L}(\delta; \lambda)) &= \{C(\overline{L}(1; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots; C(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots; C(\overline{L}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda))^{(1)}\}; \\ C(\overline{S}(\delta; \lambda)) &= \{C(\overline{S}(1; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots; C(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots; C(\overline{S}(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda))^{(1)}\}. \end{aligned}$$

Відповідно досягається одночасне скорочення кількості надмірності з врахуванням:

- спектрально-параметричних залежностей в трансформантах кластеру (кількість просторової спектрально-параметричної надмірності);
- між-трансформантних залежностей в структурно-параметричних слайсах для послідовності трансформант кластеру (кількість між-трансформантної структурно-параметричної надмірності).

Розглянемо оцінку додаткової кількості надмірності, яку можна скоротити у разі врахування

додаткових обмежень на нижню межу інтервалу значень компонент структурних складових СППР опису трансформант кластеру.

За таких умов скорочується рівень $Id(P(\xi; \delta; \lambda))$ інформації у кластеризовані трансформанті $P(\xi; \delta; \lambda)$. Тут оцінка кількості інформації $Id(P(\xi; \delta; \lambda))$ залежить від характеру обмежень в компонентах $\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)$, $\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)$ СППР опису трансформанти:

$$Id(P(\xi; \delta; \lambda)) = n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot (\log_2 F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap} + \log_2 F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap}).$$

В загальному випадку такі обмеження описуються функціоналами $F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap}$ та $F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap}$. Їх опис залежить від характеру

обліку залежностей в слайсах $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ сукупного СППР опису трансформант кластеру за кожним з двох базових параметрів. Тоді можна побудувати такі системи виразів:

$$F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap} = \begin{cases} diap(L(\xi; \delta; \lambda)), & \rightarrow \underset{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\xi; \delta; \lambda)_\alpha}{pow} \{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}; \\ diap(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)), & \rightarrow \underset{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\xi; \delta; \lambda)_\alpha}{pow} \{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha - \min(L(\delta; \lambda)_\alpha)\}; \end{cases}$$

$$F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap} = \begin{cases} diap(S(\xi; \delta; \lambda)), \rightarrow & pow \quad \{sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}; \\ & sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \\ diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)), \rightarrow & pow \quad \{sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha - \min(S(\delta; \lambda)_\alpha)\}. \\ & sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \end{cases}$$

Отримані системи дозволяють обчислити середню кількість $Id(loc(\xi; \delta; \lambda))$ інформації в од-

ній суб-спектральній полосі в дво-параметричному описі. Тут є така формула

$$Id(loc(\xi; \delta; \lambda)) = Id(P(\xi; \delta; \lambda)) / n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} = \log_2 F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap} + \log_2 F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap}.$$

При цьому зрозуміло те, що за рахунок встановлення додаткових обмежень на довжини $diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$, $diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ інтервалів визначеності значень компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ за СПС слайсами $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$,

$S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ виявляється можливість для додаткового усунення кількості надмірності. Величина додаткової кількості $r(loc(\xi; \delta; \lambda))$ надмірності відносно різних варіантів встановлення обмежень на компоненти складових СПОТ оцінюється за формулою:

$$r(loc(\xi; \delta; \lambda)) = \left(100 - \frac{\log_2 diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \cdot diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})}{\log_2 diap(L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \cdot diap(S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})} \right) \%;$$

де b_y - кількість біт на представлення компоненти спектрального масиву (до процесу квантування та виявлення залежностей).

Тут величини

$$\log_2 diap(L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \cdot diap(S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)});$$

$$\log_2 diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \cdot diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)});$$

встановлюються з обліком характеру опису особливостей для компонент СППР опису трансформант, тобто:

1) перший варіант, коли не враховуються додаткові залежності за слайсів сукупного СППР опису трансформант кластеру;

2) другий варіант, коли додатково обліковуються особливості інтервалу розмаху варіант $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $sign(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ для слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ сукупного опису СППР трансформант кластеру.

Можна заключити, що побудована модель оцінки інформативності сукупного СППР опису трансформант кластеру з врахуванням обмежень на нижню межу розмаху варіант в слайсах.

Висновки

1. Обґрунтовано підхід до узгодження перетворених мікро-фрагментів у групі для створення можливості щодо обліку їх сукупних особливостей. В цьому напрямку розроблено спосіб класифікації трансформант за розміром складових їх СППР опису.

2. Побудована модель оцінки інформативності сукупного СППР опису трансформант класте-

ру з врахуванням обмежень на нижню межу розмаху варіант в слайсах. Показана можливість для додаткового скорочення кількості надмірності.

3. Розроблено метод стиснення кластеризованих трансформант на основі двійкового блочного кодування компонент їх СППР опису в диференційно-нормованому просторі. Тут обліковуються особливості слайсів для сукупного СППР опису трансформант кластеру.

Отримав подальший розвиток метод кодування трансформант на основі спектрально-параметричного опису. Базові відмінності методу стосуються того, що: стиснення складових СПОТ здійснюється для диференційно-нормованих компонент двійковим блочним кодуванням; вагові коефіцієнти блочного коду одночасно враховують обмеження на інтервали зміни значень відповідних компонент в напрямку СПС слайсів та складових СПОТ. Це створює умови для скорочення кількості надмірності в послідовності трансформант кластеру.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] V. Barannik, O. Ignatyev, G. Pris, Y. Sidchenko and T. Belikova. "A Method of Encoding Video Information to Increase its Reliability in an Information and Telecommunications Network," 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 203–206, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452419.
- [2] 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.
- [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] Barannik, V. et al. Method of Safety of Informational Resources Utilizing the Indirect Steganography. In: Zawislak, S., Rysiński, J. (eds) *Engineer of the XXI Century. EngineerXXI 2018. Mechanisms and Machine Science*, 2020. Vol. 70. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_17 ISSN 2211-0984.
- [5] João Ascenso, Elena Alshina, Touradj Ebrahimi. The JPEG AI Standard: Providing Efficient Human and Machine Visual Data Consumption. *IEEE MultiMedia*. Vol. 30 (Issue 1). 2023 doi: 10.1109/MMUL.2023.3245919.
- [6] Zia U., McCartney M., Scotney B. et al. Survey on image encryption techniques using chaotic maps in spatial, transform and spatiotemporal domains. *International Journal of Information Security*. 2022. Vol. 21. P. 917–935. DOI: 10.1007/s10207-022-00588-5.
- [7] Xiaolong Duan, Bin Li, Zhaoxia Yin, Xinpeng Zhang, Bin Luo. Robust image steganography against lossy JPEG compression based on embedding domain selection and adaptive error correction. *Expert Systems with Applications*. vol. 229, Part A. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120416>.
- [8] A. Krasnorutsky, V. Barannik, S. Shulgin, V. Kolesnyk, N. Kharchenko and K. Revva, "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, pp. 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: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17125>.
- [10] Benjamin Bross, Ye-Kui Wang, Yan Ye, Shan Liu, Jianle Chen, Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm. Overview of the versatile video coding (VVC) standard and its applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. vol. 31 (Issue 10). PP. 3736–3764, Oct. 2021. 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. et al.: "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, pp. 53–56, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [13] P. Bas, T. Filler, and T. Pevný. Break our steganographic system – the ins and outs of organizing BOSS. In T. Filler, T. Pevný, A. Ker, and S. Craver, editors, *Information Hiding, 13th International Conference*. vol. 6958 of *Lecture Notes in Computer Science*. pp. 59-70. Prague, Czech Republic. 2011. https://doi.org/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] Dahyun Kang, Piotr Koniusz, Minsu Cho, Naila Murray. Distilling Self-Supervised Vision Transformers for Weakly-Supervised Few-Shot Classification & Segmentation. 2023 *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2023. pp. 19627–19638. DOI Bookmark: 10.1109/CVPR52729.2023.01880.
- [16] Eli Dworetzky, PictureEdgar Kaziakhmedov, PictureJessica Fridrich. Advancing the JPEG Compatibility Attack: Theory, Performance, Robustness, and Practice. *Proceedings of the 2023 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security*. 2023. pp. 67–79. <https://doi.org/10.1145/3577163.3595090>.
- [17] V. Barannik and A. Shiryayev, "Quadrature compression of images in polyadic space," *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, 2012, pp. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484.
- [18] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard"ю *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. vol. 22 (Issue. 12). pp. 1649–1668. 2012. 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: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17130>.

- [20] Barannik, V. et al. Development of Adaptive Arithmetic Coding Method to the Sequence of Bits. In: Zawiślak, S., Rysiński, J. (eds) Engineer of the XXI Century. EngineerXXI 2018. Mechanisms and Machine Science, 2020. Vol. 70. Springer, Cham. https://doi.org/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. 119–131. <https://doi.org/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. Вип. 4 (1). С 61–69. doi: 10.23939/ict2024.01.061.
- [23] Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnik V., Barannik V., Pchelnikov 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). P. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
- [24] Barannik, V. et al. (2023). A Method of Scrambling for the System of Cryptocompression of Codograms Service Components. In: Klymash, M., Luntovskyy, A., Beshley, M., Melnyk, I., Schill, A. (eds) Emerging Networking in the Digital Transformation Age. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 965. Springer, Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
- [25] Цімура Ю. В., Юдін О. К., Коляденко Ю. Ю., Єрошенко В. П., Метод кодування фрагментів-контейнерів в спектрально-параметричному просторі. *Наукоємні технології*. 2024. № 1(61). С. 36–43. doi: 10.18372/2310-5461.61.18513.
- [26] Бараннік В. В., Бараннік Д. В., Онищенко Р. С., Рєва К. В., Бабенко Ю. М. Метод оцінювання ефективності усичено-позиційного кодування для інфокомунікаційних систем. *Наукоємні технології*. 2024. 2. С. 175–184
- [27] Бараннік В. В., Єлісєєв Є. С., Цімура Ю. В., Бабенко М. В. Метод кластеризації послідовності трансформант за структурними ознаками їх спектрально-параметричного опису. *Наукоємні технології*. 2024. 2. С. 185–192.
- [28] T. Belikova and S. Sidchenko, "The Method Drawing up the Text with the Set Suggestive Orientation to Create a Hidden Channel," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 106–110, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024206.
- [29] V. Barannik, A. Berchanov, V. Barannik, M. Babenko, R. Onyshchenko and L. Kolodiichuk, "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, pp. 1–4, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452674.
- [30] Цімура Ю. В., Бабенко Ю. М., Бучик С. С., Пчельников С. І., Ушань В. М. Метод кодування низькоінформативних сегментів відеоінформаційного ресурсу для підвищення їх доступності. *Наукоємні технології*. - 2023. № 1. С. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.57.17441>.
- [31] Barannik, V. et al. (2024). Method of Coding Video Images Based on Meta-Determination of Segments. In: Luntovskyy, A., Klymash, M., Melnyk, I., Beshley, M., Schill, A. (eds) Digital Ecosystems: Interconnecting Advanced Networks with AI Applications. TCSET 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1198. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3_27.
- [32] 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.
- [33] Цімура Ю. В., Юдін О. К., Мельников О. Є., Коляденко Ю. Ю., Гуржій П. М. Модель оцінювання інформативності спектрально-параметричного опису трансформованих відеофрагментів. *Наукоємні технології*. № 4(60). 2023. С 423–429. doi: 10.18372/2310-5461.60.18272.

**Бараннік В. В., Єлісєєв Є. С., Цімура Ю. В., Бабенко М. В., Ушань В. М.
МЕТОД СТИСНЕННЯ КЛАСТЕРИЗОВАНИХ ТРАНСФОРМАНТ НА ОСНОВІ
БЛОЧНОГО КОДУВАННЯ З ЛОКАЛЬНО-МОНОТОННИМ ВИЗНАЧЕННЯМ ДОВЖИНИ**

В статті показано, що на даний час створено велику кількість різних стандартів та технологічних рішень щодо кодування джерел інформації. Найбільша частка таких рішень припадає на кодування відеозображень. Але ж не дивлячись на таку кількість різних підходів існуючі методи стиснення не можуть задовольнити потреб, які визначаються сукупністю системних вимог. Це в першу чергу стосується залежності рівня стиснення від алгоритмічної складності та рівня погіршення якості зображень за комплексом візуальних оцінок. Тому виникає потреба удосконалення засобів обробки зображень. Встановлено перспективність розвитку статистичного кодування в області спектральних перетворень. Для цього буде створено спектрально-параметричний

опис рівномірних по розміру мікро-фрагментів зображень. Побудова такого опису приводить до дво-параметричного за складом уявлення масивів спектральних елементів. Після чого стиснення зводиться до обліку відповідних просторових особливостей під час скорочення надмірності. Однак обмеженням для подальшого збільшення стиснення може бути неоднорідність розмірів складових спектрально-параметричного опису (СППР) трансформант. Звідси виникає потреба щодо узгодження СППР описів для групи перетворених мікро-фрагментів. Для цього пропонується залучати підходи щодо попередньої кластеризації групи перетворених мікро-фрагментів. В той же час постає необхідність організації стиснення з врахуванням особливостей однорідності СППР ознак перетворених мікро-фрагментів. Обґрунтовано підхід до узгодження перетворених мікро-фрагментів у групі для створення можливості щодо обліку їх сукупних особливостей. В цьому напрямку розроблено спосіб кластеризації трансформант за розміром складових їх СППР опису. Побудована модель оцінки інформативності сукупного СППР опису трансформант кластеру з врахуванням обмежень на нижню межу розмаху варіант в слайсах. Показана можливість для додаткового скорочення кількості надмірності. Розроблено метод стиснення кластеризованих трансформант на основі двійкового блочного кодування компонентів їх СППР опису в диференційно-нормованому просторі. Тут обліковуються особливості слайсів для сукупного СППР опису трансформант кластеру.

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

Barannik V., Eliseev E., Tsimura Yu., Babenko M., Ushan V.
COMPRESSION METHOD OF CLUSTERED TRANSFORMANTS BASED ON BLOCK CODING WITH LOCALLY MONOTONIC LENGTH DETERMINATION

The article shows that at present a rich number of different standards and technological solutions for coding information sources have been created. Video encoding accounts for the largest share of such solutions. But despite so many different approaches, existing compression methods cannot meet the needs determined by a set of system requirements. This primarily concerns the dependence of the compression level on the algorithmic complexity and the level of degradation of image quality according to the complex of visual assessments. This makes it possible to conclude that there is a need to improve image processing tools. The prospects for the development of statistical coding in the field of spectral transformations have been established. A spectral-parametric description of micro-fragments of images of uniform size is constructed here. The construction of such a description leads to a two-parametric representation of arrays of spectral elements. After that, compression is reduced to taking into account the relevant spatial features when reducing redundancy. However, a limitation for a further increase in compression may be the inhomogeneity of the sizes of the components of the spectral-parametric description (SPD) of the transformant. Hence, there is a need to harmonize SPD descriptions for a group of transformed micro-fragments. To do this, it is proposed to use approaches to the preliminary clustering of a group of transformed micro-fragments. At the same time, there is a need to organize compression taking into account the peculiarities of SPD homogeneity, features of transformed micro-fragments. An approach to the coordination of transformed micro-fragments in a group is substantiated in order to create an opportunity to take into account their aggregate features. In this direction, a method of clustering transformants by the size of the components of their SPD description has been developed. A model for assessing the informativeness of the aggregate DSS description of the cluster transformant has been built, taking into account the constraints on the lower limit of the range of the variant in slices. A possibility for further reduction in the amount of redundancy is shown. A method of compression of clustered transformants based on binary block encoding of the components of their SPD description in a differentially normalized space has been developed. It takes into account the features of the slices for the aggregate SPD description of the cluster transformer.

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

Стаття надійшла до редакції 01.08.2024 р.
Прийнято до друку 11.09.2024 р.