



МЕТОД РЕКОНСТРУКЦІЇ СЕГМЕНТОВАНОГО ПОТОКУ ВІДЕОДАНИХ ЗА НОРМОВАНИМИ ДАТА-СЕТАМИ В СПЕКТРАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРІ

Є. Єлісєєв [ORCID: 0000-0002-0953-4397]

Харківський національний університет радіоелектроніки, проспект Науки, 14, 61166, Харків, Україна

Відповідальний за рукопис: Євген Єлісєєв (e-mail: vvbar.off@gmail.com).

(Подано 13 лютого 2025)

В статті показано, що в залежності від особливостей прикладного застосування висуваються різні вимоги до інформаційно-технічних особливостей та характеристик продуктивності інформаційно-мережних систем. Це мотивує створення нових та вдосконалення існуючих технологій кодування відеоданих. Однак з розвитком інформаційних технологій створюються нові можливості щодо їх прикладного застосування. Зростають вимоги до: повноти відеоданих; аналізу складних відеосцен кадрів; забезпечення інформаційної переваги в умовах кібер-протистояння. Відповідно постає актуальна потреба подальшого вдосконалення технологій стиснення в напрямку підвищення їх ефективності в системі показників «рівень стиснення – рівень спотворень». В статті обґрунтовується те, що вдосконалення в першу чергу необхідно проводити в напрямку гнучкості обробки враховуючи типи та значимість об'єктів відеосцен. Звідси є необхідність створення технології класифікації відеосцен та у додатковому пошуку нових залежностей. Показано, що одним з таких підходів є метод на основі побудови для сегментів спектрально-параметричного опису та кластеризації їх послідовностей (дата-сетів) за визначеними мета-ознаками. Водночас зворотній процес для відновлення відеоданих за дата-сетами з попереднім їх декодуванням не має визначеного та обґрунтовано-систематизованого технологічного рішення. Звідси мета досліджень статті стосується розробки методу відновлення відеоданих на основі процесу декодування дата-сетів в спектрально-параметричному описі. Розроблено технологію відновлення послідовності трансформант на основі врахування: кластерного розподілу трансформант, що представлено у спектрально-параметричному описі за їх структурними ознаками; декодування двійкових блочних кодів з встановленою за маркерними посиланнями відповідною довжиною; одночасних обмежень на інтервали області визначення в напрямку СПС слайсів та складових СПОТ кластерів; визначення ваги компонент складових СПОТ за позиційними правилами в залежності від їх характеристик: кількості локальних спектральних суб-полос; поточної потужності складових СПОТ; визначення довжини кодів маркерів в залежності від структурної ознаки кластеру за довжиною складових СПОТ.

Ключові слова: відеозображення, стиснення, декодування відеоданих, трансформанта, скорочення надмірності, інфокомунікаційні мережі, цілісність, доступність.

УДК: 621.126

Вступ

Одна з важливих особливостей застосування інформаційних технологій щодо реалізації відеоінформаційних сервісів є потреба щодо їх адаптації до характерних умов та ключових факторів різних прикладних сфер [1; 2]. Це зумовлено такими факторами [3; 4]:

- різні умови організації щодо забезпечення отримання відеоінформації
- різні вимоги до апаратури реєстрації інформації

- різні умови обробки та передачі відеоінформації
- різні завдання щодо використання відеоінформації, в тому числі різна глибина аналізу
- різні вимоги до цілісності та доступності відеоданих, та в загальні до якісних характеристик відеосервісів

- різні вимоги щодо інтелектуалізації етапів обробки, аналізу та прийняття рішень на основі використання відеоінформаційних дата-сетів

Відповідно висуваються різні вимоги інформаційно-технічних особливостей та щодо характеристик продуктивності інформаційно-мережних систем [5; 6]. Така багатообразність факторів впливу спричиняє диференційованість вимог до методів кодування відеоданих [7; 8]. Це мотивує створення нових та вдосконалення існуючих технологій кодування відеоданих [9; 10].

На даний час створено декілька ланок стандартизованих платформ та ряд альтернативних реалізацій [11; 12]. Однак з розвитком інформаційних технологій, підвищення ефективності методів інтелектуального аналізу даних та штучного інтелекту створюються нові можливості для їх прикладного застосування [13; 14]. З'являються нові прикладні задачі, та отже потреба у нових та/або більш якісних відеосервісів. Наприклад, зростають вимоги до: повноти відеоданих (піксельна потужність відеозображень); аналізу складних відеосцен кадрів; забезпечення інформаційної переваги в умовах кібер-протистояння [15; 16]. Звідси наявні методи кодування та обробки відеоданих матимуть обмежені можливості щодо нових вимог до відеосервісів [17; 18]. Відповідно постає **актуальна науково-прикладна задача** подальшого вдосконалення технологій стиснення в напрямку підвищення їх ефективності в системі показників «рівень стиснення – рівень спотворень».

2. Аналіз та постановка задачі

У разі обробки відеозображень надвеликих розмірів в умовах збільшення складності відеосцен існує потреба у вдосконаленні методів стиснення за певними напрямками [19; 20]. Таке вдосконалення в першу чергу необхідно проводити в напрямку гнучкості обробки враховуючі типи та значимість об'єктів відеосцен [21; 22]. Звідси першим фактором є необхідність створення технології класифікації відеосцен та наявних в них характерних ознак [23; 24]. Другим фактором є потреба у додатковому пошуку нових залежностей [25; 26]. Відповідно після чого проведення їх врахування для побудови правил виявлення, які дозволятимуть скорочувати потенційну надмірність. Це тягне за собою потребу у розробці нового математичного та технологічного апарату (методів кодування та перед-процесінга) щодо скорочення надмірності за побудованими правилами опису залежностей.

Одним з таких підходів, які викладено в працях [27; 28] є метод на основі побудови для сегментів спектрально-параметричного опису та кластеризації їх послідовностей (дата-сетів) за визначеними мета-ознаками. Як показано в роботах [29; 30] такий підхід має переважні характеристики, особливо у випадках збільшення складності відеосцен, що представлені сегментованим потоком відеоданих.

Водночас зворотній процес для відновлення відеоданих за дата-сетами з попереднім їх декодуванням не має визначеного та обґрунтовано-систематизованої технологічного рішення.

Звідси **мета досліджень статті** стосується розробки методу відновлення відеоданих на основі процесу декодування дата-сетів в спектрально-параметричному описі.

3. Побудова методу відновлення відео-фрагментів на основі блочного декодування структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант з врахуванням локально-монотонної технології визначення довжини

В процесі відновлення відео-фрагментів або цілісних відеозображень необхідно враховувати структурну організацію синтаксису кодових конструкцій. Особливості такої організації стосуються наступного:

1. Синтаксис кодових конструкцій $C(\delta)_T$ формується двома частинами: службовою $C_{\text{sec}}(\delta)_T$ та інформативною $C_{\text{inf}}(\delta)_T$.

2. Відео-фрагмент представляється спектрально-параметричним описом відповідної трансформанти $P(t;\delta)$. Спектрально-параметричний опис складається двома компонентами $L(t;\delta)^{(1)}$, $S(t;\delta)^{(1)}$ - елементами яких відповідно є величини: довжина $\ell(t;\delta)_\alpha$ та значущий рівень $\text{sign}(t;\delta)_\alpha$ спектральної суб-полоси (ССП) $\text{sb}(t;\delta)_\alpha$.

3. Послідовність $P(\delta)_T$ трансформант $P(t;\delta)$ поділена на кластери $\Omega(\delta;\lambda)$. Кожен кластер характеризується ознакою $n(\xi;\delta;\lambda)_{\text{sb}}$. Така ознака визначається як довжина складових $L(\xi;\delta;\lambda)^{(1)}$ та $S(\xi;\delta;\lambda)^{(1)}$ СПОТ, та є постійною в межах кластеру. Кількість Λ кластерів є службовою інформацією, яка передається на приймальну сторону.

4. Кожна складова $L(\xi;\delta;\lambda)^{(1)}$ та $S(\xi;\delta;\lambda)^{(1)}$ СПОТ представляється в диференційно-нормованому описі $\bar{L}(\xi;\delta;\lambda)^{(1)}$, $\bar{S}(\xi;\delta;\lambda)^{(1)}$ з послідовним формуванням блочних кодів $C(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $C(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$ з визначеною за локально-монотонним $C(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $C(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$ принципом довжиною $V_3(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $V_3(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$.

5. На рівні декодування послідовності трансформант використовуються такі перетворення з службовою інформацією:

1) реконструкція маркерів λ трансформант $P(\xi;\delta;\lambda)$ щодо належності до відповідного кластеру $\Omega(\delta;\lambda)$. Відповідно формується інформація відносно кількості Λ кластерів;

2) на основі інформації щодо кількості Λ кластерів створюється умови для відновлення структурних ознак $n(\xi;\delta;\lambda)_{\text{sb}}$ кластерів $\Omega(\delta;\lambda)$. Довжина коду $V(n(\xi;\delta;\lambda))_{\text{sb}}$ таких ознак є рівномірною $V(n(\xi;\delta;\lambda))_{\text{sb}} = \text{const}$;

3) інформація щодо величин $n(\xi;\delta;\lambda)_{\text{sb}}$ - кількості ЛКМ в λ -му кластері використовується в наступних етапах процесу реконструкції:

- довжин $V(n(\xi;\delta;\lambda)_{\text{sb}})_L$, $V(n(\xi;\delta;\lambda)_{\text{sb}})_S$ маркерів $M(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $M(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$ складових спектрально-параметричного опису трансформант певного λ -го кластеру. Для цього за відомим $n(\xi;\delta;\lambda)_{\text{sb}}$ використовуються вирази:

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

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

- 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 в диференційно-нормованому просторі, а саме для визначення вагових коефіцієнтів $\psi(\bar{\ell}(\xi;\delta;\lambda)_\alpha)$ та $\psi(\overline{\text{sign}}(\xi;\delta;\lambda)_\alpha)$ в процесі декодування блочних кодів $C(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))^{(1)}$ та $C(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))^{(1)}$;

4) встановлення кодів маркерів $M(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $M(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$ дозволяє отримати інформацію щодо довжин $V_3(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $V_3(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$ двійкових блочних кодів $C(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$ та $C(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$;

$$V_3(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda)) = [M(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))]_2; \quad V_3(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda)) = [M(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))]_2.$$

Тут $[M(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))]_2$, $[M(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))]_2$ - двійковий зміст маркерів $M(\bar{L}(\xi;\delta;\lambda))$, $M(\bar{S}(\xi;\delta;\lambda))$;

5) наявність змісту $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ та $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ двійкових блочних кодів створює можливість для реконструкції компонент $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ відповідних складових $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ та $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ в диференційно-нормованому просторі. Для цього додатково використовується наступна службова інформація:

- довжини $\text{diar}(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ та $\text{diar}(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$ 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. Це дозволяє знайти 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:

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

- нижні межі $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ інтервалів визначеності компонент $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ за напрямками відповідних СПС слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ кластерів. Це забезпечує відновлення компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ складових СПОТ в початковому просторі, тобто:

$$\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha = \bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha + \min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \quad \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha = \overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha + \min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}).$$

Відповідно процес реконструкції компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ складових СПОТ на основі декодування двійкових блочних кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ задається наступними виразами:

$$\begin{aligned} \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha &= \text{debinar}_{V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))} ([C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}]_{10}; \psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha) + \min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}); \\ \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha &= \text{debinar}_{V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))} ([C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}]_{10}; \psi(\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha) + \min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}). \end{aligned}$$

Тут:

$[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$, $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}]_{10}$ - десяткові еквіваленти для двійкових кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$, $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ складових СПОТ λ -го кластеру;

$\text{debinar}_{V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))} ([C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}]_{10}; \psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha)$ - функціонал декодування блочних кодів $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ в десятковому просторі за параметрами $[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$ та ваги $\psi(\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha$ для відновлення компонент $\bar{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ складових $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$;

$\text{debinar}_{V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))} ([C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}]_{10}; \psi(\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha)$ - функціонал декодування блочних кодів $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ в десятковому просторі за параметрами $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}]_{10}$ та ваги $\psi(\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda))_\alpha$ для відновлення компонент $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ складових $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$.

Такі дії дозволяють відновити складові $L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$

$$L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)} = \{ \ell(1; \delta; \lambda)_1; \dots; \ell(1; \delta; \lambda)_\alpha; \dots; \ell(1; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{\text{sb}}} \};$$

$$S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)} = \{ \text{sign}(1; \delta; \lambda)_1; \dots; \text{sign}(1; \delta; \lambda)_\alpha; \dots; \text{sign}(1; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \};$$

СПОТ $P(\xi; \delta; \lambda)$

$$\{L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}; S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}\}_{\xi=1, n(\delta; \lambda)_{tr}} \rightarrow \{P(\xi; \delta; \lambda)\}_{\xi=1, n(\delta; \lambda)_{tr}};$$

для всіх трансформант кластеру, тобто $\alpha = 1, n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$:

$$\Omega(\delta; \lambda) = \{P(1; \delta; \lambda); \dots; P(\xi; \delta; \lambda); \dots; P(n(\delta; \lambda)_{tr}; \delta; \lambda)\}$$

або

$$\Omega(\delta; \lambda) = \left| \begin{array}{cc} \ell(\xi; \delta; \lambda)_1 & \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_1 \\ & \dots \\ \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha & \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \\ & \dots \\ \ell(\xi; \delta; \lambda)_{n(t; \delta)_{sb}} & \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_{n(t; \delta)_{sb}} \end{array} \right|_{\xi=1, n(\delta; \lambda)_{tr}}.$$

Це дозволяє перейти до етапу, який пов'язано з відновленням компонент $y(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha, \gamma}$ спектрального масиву $Y(\xi; \delta; \lambda)$:

$$Y(\xi; \delta; \lambda) = \{sb(\xi; \delta; \lambda)_1; \dots; sb(\xi; \delta; \lambda)_\alpha; \dots; sb(\xi; \delta; \lambda)_{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}}\}$$

за структурою спектральних суб-полос (ССП) $sb(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$:

$$\{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha; \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\} \rightarrow sb(\xi; \delta; \lambda)_\alpha.$$

б) реконструкція послідовності ССП $sb(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$:

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

кожної трансформанти кластеру. Тут $\alpha = 1, n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$. Для цього використовуються відповідні структурні параметри: довжина $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ та значущий рівень $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ для α -ї ССП, тобто:

$$y(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha, \gamma} = \text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \text{ для } 1 \leq \gamma \leq \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha,$$

де $y(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha, \gamma}$ - γ -та компонента для α -ї ССП ξ -ої трансформанти λ -го кластеру.

Це дозволяє відновити пост-квантовий спектральний простір трансформанти $Y(\xi; \delta; \lambda)$, тобто:

$$Y(\xi; \delta; \lambda) = \left| \begin{array}{ccc} y(\xi; \delta; \lambda)_{1,1} \dots y(\xi; \delta; \lambda)_{1,k} \dots y(\xi; \delta; \lambda)_{1,n} \\ & \dots & \\ y(\xi; \delta; \lambda)_{u,1} \dots y(\xi; \delta; \lambda)_{u,k} \dots y(\xi; \delta; \lambda)_{u,n} \\ & \dots & \\ y(\xi; \delta; \lambda)_{n,1} \dots y(\xi; \delta; \lambda)_{n,k} \dots y(\xi; \delta; \lambda)_{n,n} \end{array} \right|;$$

7) відновлення початкового розташування трансформант $Y(t; \delta)$ в загальному потоці $Y(\delta)$ за інформацією щодо маркеру λ їх кластерів. Для виконання таких дій залучається позиційна послідовність $\lambda(\delta)_T$:

$$\lambda(\delta)_T = \{\theta_1; \dots; \theta_t; \dots; \theta_T\}$$

маркерів λ трансформант $Y(\xi; \delta; \lambda)$. Тоді кластеризовано-розподілені трансформанти $Y(\xi; \delta; \lambda)$ розташовуються в загальній послідовності $Y(\delta)_T$ за послідовною чергою у відповідності до значення маркеру λ .

$$Y(\xi; \delta; \lambda) \rightarrow Y(t; \delta), \text{ якщо } \theta_t = \lambda,$$

де θ_t - t -й елемент маркерної послідовності $\lambda(\delta)_T$.

Тут мається на увазі те, що трансформанта $Y(\xi; \delta; \lambda)$ є поточною компонентою λ -го кластеру, та такою, яка на момент позиціонування t -ї трансформанти, ще не була розташована в загальному потоці $Y(\delta)_T$.

Даним етапом закінчується технологічна процедура, яка реалізує створений процес щодо відновлення послідовності трансформант. Після чого виконується загальна послідовність технологічних дій щодо процесу відновлення відео-фрагментів та цілісних відеозображень. Сюди відносяться такі перетворення:

1. Відновлення початкового спектрального простору трансформанти. Для цього потрібно здійснити процедуру де-квантування. У разі використання стратегії $F(t; \delta)_{kvt}$ квантування з фактором δ маємо такий вираз для де-квантування:

$$y'(t; \delta)_{u,k} = y(t; \delta)_{u,k} \cdot m_{u,k}.$$

Тут:

$m_{u,k}$ - $(u; k)$ -й елемент матриці квантування;

$y'(t; \delta)_{u,k}$ - відновлена $(u; k)$ -а компонента спектрального масиву $Y'(t; \delta)$ після процедури де-квантування.

Відповідно елементи $m_{u,k}$ матриці квантування в залежності від фактор-параметру δ формуються за допомогою формули:

$$m_{u,k} = 1 + ((1 + (u-1) + (k-1)) \times \delta).$$

2. У разі, якщо обробка DC-компоненти спектрального масиву $Y'(t; \delta)$ проводилась окремо, то необхідно застосовувати відповідну процедуру. В загалі для обробки DC-компоненти використовуються декілька алгоритмів. Найбільш відомий алгоритм стосується врахування залежностей між значеннями DC-компонент сусідніх трансформант [29; 30].

3. Відновлення відео-фрагментів $X'(t; \delta)$ в яскравісному просторі. Для цього виконується зворотне дискретне косинусне перетворення. Зворотне перетворення виконується в два кроки, та задається наступними виразами:

$$P_{(i,j)} \bullet = F_{(i)} Y'(t; \delta)_{i,j}; \quad X'(t; \delta)_{(i,j)} = P_{(i,j)} \bullet F_{(j)}^{(-1)}.$$

4. Проводиться за потреби відновлення початкового формату макрофрагментів. Після чого здійснюється зборка цілісних кольорових складових відеозображення.

5. Відновлення відеозображення у форматі RGB. Тобто проводиться зворотне перетворення відеозображення з формату YCrCb до формату RGB. В загальному випадку тут можуть задіятися такі формули:

$$g'_{i,j} = y'_{i,j} - \lfloor (u'_{i,j} + v'_{i,j}) / 4 \rfloor; \quad r'_{i,j} = u'_{i,j} + g'_{i,j}; \quad b'_{i,j} = v'_{i,j} + g'_{i,j}.$$

Остаточного відеозображення у форматі RGB реконструюється після того, коли сформовані всі його відповідні кольорові компоненти.

Висновки

Розроблено технологію відновлення послідовності трансформант на основі врахування:

- кластерного розподілу трансформант, що представлено у спектрально-параметричному описі за їх структурними ознаками;
- декодування двійкових блочних кодів з встановленою за маркерними посиланнями відповідною довжиною;
- одночасних обмежень на інтервали області визначення в напрямку СПС слайсів та складових СПОТ кластерів;
- визначення ваги компонент складових СПОТ за позиційними правилами в залежність від їх характеристик: кількості локальних спектральних суб-полос; поточної потужності складових СПОТ;
- визначення довжини кодів маркерів в залежності від структурної ознаки кластеру за довжиною складових СПОТ.

Вперше створено метод відновлення послідовності трансформант на основі реконструкції спектрально-параметричного опису. Відмінності методу стосуються того, що: декодування блочних кодів за локально-монотонною довжиною здійснюється в кластеризовано-розподіленому спектрально-параметричному просторі трансформант в умовах додаткового диференційного нормування компонент їх складових за напрямком структурно-параметричних слайсів. Це дозволяє відновити послідовності пост-квантових трансформант без втрати достовірності.

Список використаних літературних джерел

- [1]. Бараннік, Д. В., Гуржій, П. М., Бараннік, В. В., Сідченко, С. О., Чорномаз, І. К., and Григор'ян, М. Б. (2023) "Saving Elements Methods for Service Components of Images Cryptocompression Codograms", *Visnyk NTUU KPI Seriia - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (92), pp. 28-40. doi: 10.20535/RADAP.2023.92.28-40.
- [2]. Barannik V. et al. Model for Representing Significant Segments of a Video Image Based on Locally Positional Coding on a Structural Basis. *Smart and Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IEEE IDAACS-SWS 2020): proceedings of IEEE 5nd International Symposium*, 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS50031.2020.9297068.
- [3]. Barannik V. et al. Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020): proceedings of 15 th IEEE International Conference*, 2020. P. 699–702. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.
- [4]. Ibrahim D. R., The J.S., Abdullah R. (2021). An overview of visual cryptography techniques. *Multimed Tools Appl* 80, 31927–31952. doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11229-9>
- [5]. 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.

- [6]. Bhat, R., & Nanjundegowda, R. (2024). CryptoGAN: a new frontier in generative adversarial network-driven image encryption. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 13(4), 4813-4821. doi:<http://doi.org/10.11591/ijai.v13.i4.pp4813-4821>
- [7]. Yuan Liu, Songyang Zhang, Jiacheng Chen, Zhaohui Yu, Kai Chen, Dahua Lin. Improving Pixel-based MIM by Reducing Wasted Modeling Capability. 2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2023. – pp. 5338-5349. DOI Bookmark: 10.1109/ICCV51070.2023.00494.
- [8]. Chen, C.-C., Lin, C.-S., Chen, J.-Z. (2022). Boolean-Based (k, n, m) Multi-Secret Image Sharing. *Axioms*, 11, 197. doi: <https://doi.org/10.3390/axioms11050197>
- [9]. Сидченко С.А. Обоснование значимых угроз безопасности видеотелекоммуникационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления / В.В. Баранник, А.В. Власов, С.А. Сидченко // Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте. – 2014. - №3. - С. 24 – 31.
- [10]. Alsafyani M, Alhomayani F, Alsuwat H, Alsuwat E. Face Image Encryption Based on Feature with Optimization Using Secure Crypto General Adversarial Neural Network and Optical Chaotic Map. *Sensors*. 2023; 23(3):1415. <https://doi.org/10.3390/s23031415>
- [11]. Tarasenko, D., Kulitsa, O., Barannik, D., Barannik, V.V., Podlesny, S., The video stream encoding method in infocommunication systems. *IEEE 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (IEEE TCSET 2018)*, 2018, pp. 538-541. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336259.
- [12]. Xu, Daihan et al. "Design of artificial intelligence image encryption algorithm based on hyperchaos." *Ain Shams Engineering Journal* (2022): n. pag.
- [13]. Gadhiya N., Tailor S., Degadwala S. (2024). A Review on Different Level Data Encryption through a Compression Techniques. 2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Lalitpur, Nepal, p. 1378-1381. doi: 10.1109/ICICT60155.2024.10544803.
- [14]. Yuanlin C., Tianxiu L., Caiwen C., Yi X. A novel image encryption method based on improved two-dimensional logistic mapping and DNA computing. *Advances in Nonlinear Systems and Networks*, 2024, Volume III, DOI: 10.3389/fphys.2024.1469418.
- [15]. Matel I.-E. (2024) Novel Lossless Crypto-Compression Scheme for Medical Images. 2024 26th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC), Timisoara, Romania, p. 378-385. doi: 10.1109/SYNASC65383.2024.00069.
- [16]. V. Barannik and A. Shiryaev, "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.
- [17]. Hamano G., Imaizumi S., Kiya H. (2023). Effects of JPEG Compression on Vision Transformer Image Classification for Encryption-then-Compression Images. *Sensors*, 23, 3400. doi: <https://doi.org/10.3390/s23073400>
- [18]. Alqahtani, F. (2024). Ai-powered image security: utilizing autoencoders for advanced medical image encryption. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 141(2), 1709–1724. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2024.054976>
- [19]. Shoko Imaizumi, Genki Hamano, Hitoshi Kiya. Effects of JPEG Compression on Vision Transformer Image Classification for Encryption-then-Compression Images. - *Sensors* vol.23. – pp.1-19. – 2023. <https://doi.org/10.3390/s23073400>.
- [20]. Barannik V. et al. "Method of coding dynamic sequence of frame-spline structures of provided frames in info-communications," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 36-40, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628928.
- [21]. Fatima R., Bahejeja K, May A. Survey Study Image Cryptography System. *BIO Web Conf*, Volume 97, 2024, DOI: 10.1051/bioconf/20249700044.
- [22]. Barannik V. et al. 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>.
- [23]. V. Barannik, O. Slobodyanyuk, A. Krasnorutsky, A. Korchenko, S. Pchelnikov "Aerial Photographs for Ensuring Cyber Security of Critical Infrastructure Objects" 2021 Proceedings of Selected Papers of the Workshop on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems (CPITS 2021), Kyiv, Ukraine, pp. 182–191.
- [24]. Xiaowu L., Huiling P. Chaotic medical image encryption method using attention mechanism fusion ResNet model. *Front Neurosci*. 2023, DOI: 10.3389/fnins.2023.1226154.

- [25]. Цімура Ю., Єлісєєв Є.С., Бараннік В.В., 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: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.63.18971>.
- [26]. Aprilpyone, M.; Kiya, H. Privacy-Preserving Image Classification Using an Isotropic Network. *IEEE Multimed.* - 2022. - 29. – pp. 23–33. doi: 10.1109/MMUL.2022.3168441.
- [27]. Barannik V. et al. "Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 52-56, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [28]. Alimpiev, A. N., Barannik, V. V., Sidchenko, S. A. (2017). The method of cryptocompression presentation of videoinformation resources in a generalized structurally positioned space, *Telecommunications and Radio Engineering*, 76 (6), 521–534. doi: <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v76.i6.60>
- [29]. Єлісєєв Є.С., Цімура Ю., Бараннік В.В., 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: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.62.18712>
- [30]. V. Barannik, A. Krasnorutsky, Y. Ryabukha, R. Onyshchenko, S. Shulgin and O. Slobodyanyuk, "Marker Information Coding for Structural Clustering of Spectral Space," 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2021, pp. 46-51, doi: 10.1109/ATIT54053.2021.9678538.
- [31]. Yuhang R. A novel image encryption system based on chaotic system and index mapping. *ICIPAI* 2024. DOI: 10.1117/12.3035300

METHOD RECONSTRUCTION SEGMENTED VIDEO DATA STREAM BY NORMALIZED DATA SETS IN SPECTRAL-PARAMETRIC SPACE

Yevhen Eliseev

Kharkiv National University of Radio Electronics, 14, Nauka Avenue, Kharkiv, 61166, Ukraine

The article shows that depending on the features of applied application, different requirements are put forward for information and technical features and performance characteristics of information and network systems. This motivates the creation of new and improvement of existing video encoding technologies. However, with the development of information technologies, new opportunities are created for their applied application. The requirements for: completeness of video data are growing; analysis of complex video scenes, frames; providing information advantage in the context of cyber confrontation. Accordingly, there is an urgent need for further improvement of compression technologies in the direction of increasing their efficiency in the system of indicators "compression level – distortion level". The article substantiates the fact that improvement should first of all be carried out in the direction of processing flexibility, taking into account the types and significance of video scene objects. Hence the need to create a technology for classifying video scenes and in an additional search for new dependencies. It is shown that one of such approaches is a method based on the construction of spectral-parametric description for segments and clustering of their sequences (datasets) according to certain meta-characteristics. At the same time, the reverse process for recovering video data from data sets with their preliminary decoding does not have a defined and reasonably systematized technological solution. Hence, the purpose of the research of the article concerns the development of a method for recovering video data based on the process of decoding data sets in spectral-parametric description. A technology for restoring the sequence of transformants has been developed based on taking into account: the cluster distribution of transformants, which is presented in the spectral-parametric description according to their structural features; decoding of binary block codes with the appropriate length set by marker references; simultaneous restrictions on the intervals of the definition area in the direction of SPS slices and components of SPPT clusters; determination of the weight of the components of the components of the SPPT according to positional rules depending on their characteristics: the number of local spectral sub-bands; current capacity of the components of the SPPT; determination of the length of marker codes depending on the structural feature of the cluster by the length of the components of the SPPT.

Keywords: Video Imaging, Compression, Video Decoding, Transformant, Redundancy Reduction, Infocommunication Networks, Integrity, Accessibility.