



МЕТОД КОДУВАННЯ КЛАСТЕРИЗОВАНИХ ТРАНСФОРМАНТ В ДИФЕРЕНЦІЙНО-НОРМОВАНОМУ ПРОСТОРІ

В. Бараннік¹ [ORCID: 0000-0002-2848-4524], Є. Єлісєєв² [ORCID: 0000-0002-0953-4397], Ю. Цімура³ [ORCID: 0000-0002-6269-3821],
М. Бабенко² [ORCID: 0000-0003-1013-9383]

¹ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

² Харківський національний університет радіоелектроніки, проспект Науки, 14, 61166, Харків, Україна

³ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, вул. Київська, 45/1, Київ, 01011, Україна.

Відповідальний за рукопис: Володимир Бараннік (e-mail: vvbar.off@gmail.com).

(Подано 13 лютого 2024)

В статті показано, що одним з головних призначень проєктів розвитку інформатизації держави є належне забезпечення потрібною інформацією центрів аналізу та прийняття рішень. Важливо дотримуватись вимог щодо своєчасності, достовірності та захищеності процесів доставки інформації. Це сприяє розвитку засобів дистанційного збору інформації та її передачі з використанням різних технологічних рішень. Найбільшої затребуваності отримали безпілотні засоби (БЗ). Однак в статті показано, що на практиці існують фактори, які обмежують можливості телекомунікаційного обладнання БЗ. Тоді своєчасність та достовірність передачі інформації буде реалізовуватись лише для форматів зображення низького рівня. З іншого боку процедура аналізу інформації в тому числі з використанням інтелектуального аналізу висуває фактори реалізації на БЗ форматів зображень більш високого рівня. Зрозуміло, що виникає протиріччя. Це протиріччя стосується неузгодженості між допустимим та потрібним рівнями форматів зображень для безпілотних засобів. Локалізація таких колізій можлива шляхом відповідного зменшення інформаційного навантаження на основі обліку певних особливостей в описі фрагментів зображень. В спектральному просторі такі особливості фрагментів мають такий прояв: наявності послідовностей спектральних компонент з не значимим відхиленням інтервалу розмаху. Наявність таких особливостей є передумовою побудови методів стиснення в спектрально-параметричному описі трансформант (СПОТ). Тому мета статті полягає у розробці методів стиснення зображень на основі їх спектрально-параметричного опису з обліком залежностей більшого порядку. Обґрунтовано потреба щодо формування просторів однорідності для групи трансформант загального відеопотоку для реалізації можливості обліку між-трансформантних залежностей в СПО масивів спектральних елементів. Розроблено модель побудови просторів однорідності (кластерів) з групи трансформант на основі потужності СПО за кількістю спектральних СП. Це створює умови для реалізації процедури стиснення з додатковим вилученням кількості між-трансформантної надмірності в СПО-трансформант.

Ключові слова: кодування відеозображень, трансформанта, стиснення, скорочення надмірності.

УДК: 621.126

1. Вступ

Одним з головних призначень проєктів розвитку інформатизації держави є належне забезпечення потрібною інформацією центрів аналізу та прийняття рішень [1]. Важливо дотримуватись вимог щодо своєчасності, достовірності та захищеності процесів доставки інформації [3 –

5]. В сучасних умовах зачасти об'єкти моніторингу знаходяться на значних відстанях від центрів аналізу інформації щодо їх стану. Це сприяє розвитку засобів дистанційного збору інформації та її передачі з використанням різних технологічних рішень. Найбільшої затребуваності отримали безпілотні засоби [6]. Таке зумовлено рядом переваг таких засобів в умовах моніторингу важко доступних територій, територій, де відбуваються надзвичайні ситуації [7; 8]. Відповідно такий підхід для надання інформації активно використовуються в інтересах відомчих організацій та профільних міністерств.

Тому безпілотні засоби (БЗ) займають важливе місце в загальному ланцюгу щодо організації інформаційної підтримки підсистем прийняття рішень. Відповідно висуваються певні вимоги відносно характеристик продуктивності БЗ з побудови початкового формату цифрованого зображення, обробки та передачі ін.формації [9 – 12]. Тут потрібно звертати увагу, що такі характеристики БЗ залежать від багатьох факторів. Це зовнішні умови проведення моніторингу та внутрішні фактори стосовно енергетичної потужності БЗ та його вантажопідйомності [13 – 17]. Найчастіше на практиці такі фактори обмежують можливості телекомунікаційного обладнання БЗ. Тоді своєчасність та достовірність передачі інформації буде реалізовуватись лише для форматів зображення низького рівня [18; 19].

З іншого боку процедура аналізу інформації в тому числі з використанням інтелектуального аналізу висуває фактори реалізації на БЗ форматів зображень більш високого рівня [20 – 22]. Зрозуміло, що виникає протиріччя. Це протиріччя стосується неузгодженості між допустимим та потрібним рівнями форматів зображень для безпілотних засобів [23 – 25]. Тому збільшується ризики втрати рівня доступності та достовірності інформації, яка передається.

Локалізація таких колізій можлива шляхом відповідного зменшення інформаційного навантаження, яке формується цифрованими зображеннями. Тут використовуються спеціальні методи, які направлено на скорочення кількості надмірності [23 – 25]. Відповідні методи окреслюються, як технології стиснення цифрованих зображень. Тому збільшення рівня формату цифрованих зображень для БЗ на основі методів стиснення є актуальною *науково-прикладною задачею*.

2. Аналіз та постановка задачі

На даний час існують створені стандарти з реалізації стиснення зображень. Основна їх більшість основана на скороченні надмірності в спектральному просторі окремих фрагментів. Тут побудова методу базується на обліку певних особливостей в описі фрагментів зображень. Процеси стиснення реалізуються шляхом передбачення наявності: фрагментів з низькою візуальною чутливістю; фрагментів з підвищеним рівнем кореляційних залежностей. В спектральному просторі такі особливості фрагментів мають такий прояв: перетрнансформування інтервалів розмаху варіант в напрямку обмеженої кількості низькочастотних компонент; наявності послідовностей спектральних компонент з не значимим відхиленням інтервалу розмаху – спектральні суб-полоси $sb(t; \delta)_\alpha$ [26 – 30].

Наявність таких особливостей є передумовою побудови методів стиснення в спектрально-параметричному описі трансформант (СПОТ). Таке представлення формується сукупністю параметрів $\{\ell(t; \delta)_\alpha; \text{sign}(t; \delta)_\alpha\}$ для кожної з спектральних суб-полос (СП) $sb(t; \delta)_\alpha$, які визначаються за зіг-заг напрямком обходу двовимірної трансформанти. Для обробки сукупності параметрів $\ell(t; \delta)_\alpha; \text{sign}(t; \delta)_\alpha\}$ використовуються різні підходи [26 – 30]. В своїй більшості вони враховують локальні статистичні залежності або за окремими компонентами $\ell(t; \delta)_\alpha$ та $s(t; \delta)_\alpha$ не залежно одна від іншої, або спробують облікувати залежність між цими компонентами в парі $\text{loc}(t; \delta)_\alpha$. Отже статистичні залежності більшого порядку є недостатньо апробованими в процесі усунення надмірності. Крім того, слід зауважити про те, що не враховують залежності між фрагментами у групі кадрів відеопотоку. Звісно це зменшує ефективність методів стиснення зображень. Відповідно скорочуються можливості для вирішення протиріччя. Тому *мета статті*

полягає у розробці методів стиснення зображень на основі їх спектрально-параметричного опису з обліком залежностей більшого порядку.

3. Розробка моделі представлення трансформанти в спектрально-параметричному описі

В результаті виконання дискретного косинусного перетворення фрагменту зображення утворюються масив спектральних компонент $Y(t; \delta)^{(1)}$. Тут t – індекс масиву спектральних компонент у групі загального відеопотоку; δ – параметр квантизації. Відповідно для побудови його спектрально-параметричного опису реалізується процес суб-полосної дискретизації з побудовою векторів $\text{loc}(t; \delta)_\alpha$ двох компонент $\text{loc}(t; \delta)_\alpha = \{ \ell(t; \delta)_\alpha; \text{sign}(t; \delta)_\alpha \}$: $\ell(t; \delta)_\alpha$ – довжина спектральних-СП; $\text{sign}(t; \delta)_\alpha$ – рівень спектральних-СП. Кількість $n(t; \delta)_{sb}$ векторів $\text{loc}(t; \delta)_\alpha$ залежить від кількості спектральних СП у трансформанті. В свою чергу кількість спектральних-СП залежить від складності структури СПОТ. В загальному випадку величини $n(t; \delta)_{sb}$ для кожного масиву спектральних компонент в групі відеопотоку будуть різними, $n(t; \delta)_{sb} = \text{var}$. Величина $n(t; \delta)_{sb}$ для t -ї трансформанти також залежить від рівня $r(t)_{inf}$ інформативності початкового відео-фрагменту та стратегії $F(t; \delta)_{kvt}$ квантування спектрального простору. Звідси в загальному випадку маємо наступну функціональну залежність:

$$n(t; \delta)_{sb} = \text{fun}(r(t)_{inf}; F(t; \delta)_{kvt}). \quad (1)$$

Інформативність $r(t)_{inf}$ відео-фрагментів зачасти розглядається в трьох рівнях. Кожен рівень визначається концентрацією дрібних деталей у ВФР. Відповідно маємо: ВФР з низьким, середнім та високим рівнем насиченості деталями.

За проведеною процедурою початковий масив $Y(t; \delta)^{(1)}$ перетворюється до СПОТ $P(t; \delta)$, тобто:

$$Y(t; \delta)^{(1)} \rightarrow P(t; \delta) = \begin{bmatrix} \ell(t; \delta)_1 & \text{sign}(t; \delta)_1 \\ \vdots & \vdots \\ \ell(t; \delta)_\alpha & \text{sign}(t; \delta)_\alpha \\ \vdots & \vdots \\ \ell(t; \delta)_{n(t; \delta)_{sb}} & \text{sign}(t; \delta)_{n(t; \delta)_{sb}} \end{bmatrix}.$$

В цьому описі кожен з стовпців утворює вектор-складову СПОТ:

- лівий стовпець – складова $L(t; \delta)^{(1)}$ довжин спектральних-СП (ДСП)

$$L(t; \delta) = \{ \ell(t; \delta)_1; \dots; \ell(t; \delta)_{n(t; \delta)_{sb}} \};$$

- правий стовпець – складова $S(t; \delta)^{(1)}$ рівнів спектральних-СП (РСП)

$$S(t; \delta) = \{ \text{sign}(t; \delta)_1; \dots; \text{sign}(t; \delta)_{n(t; \delta)_{sb}} \}.$$

Зрозуміло, що для врахування залежностей групи СПО-трансформант необхідно враховувати відповідні їх особливості. Отже потрібно забезпечити їх однорідність. Це дозволить реалізувати процедуру стиснення з більшим рівнем скорочення надмірності. Напрямок рішення стосується у застосуванні кластеризації СПО-трансформант у групі відеопотоку за параметром $n(t; \delta)_{sb}$.

Тому пропонується під час стиснення реалізовувати особливості між властивостями СПО-трансформант у групі. Для цього з початку формується однорідні простори – кластери. Кластери

долучають до себе масиви спектральних елементів з однорідними параметрами СПО. Процес рекомбінації групи трансформант на однорідні простори (кластери) організується за параметром $n(t; \delta)_{sb}$ – потужність спектрально-параметричного опису трансформанти за кількістю спектральних-СП. Тоді, якщо групу з T масивів спектральних елементів у СПО позначити, як $P(\delta)_T$, $P(\delta)_T = \{P(1; \delta); \dots; P(T; \delta)\}$, то формується послідовність $n(\delta)_{sb}$, $n(\delta)_{sb} = \{n(t; \delta)_{sb}\}_{t=1, T}$. Де величина потужності $n(t; \delta)_{sb}$ СПОТ відповідно до формули (1) залежить від рівня δ режиму квантування та $r(t)_{inf}$ інформативності фрагменту зображення.

Тоді побудова однорідних просторів з трансформант пропонується проводити за потужністю їх СПО.

Побудова однорідних просторів з трансформант за їх за потужністю СПО дозволяє реалізувати між-трансформантні особливості. Такі кластери позначатимемо $\Omega(\delta; \lambda)$. Тут λ – маркер кластеру. Кожен такий кластер характеризується величиною $n(t; \delta)_\lambda$. Тоді поточна трансформанта $P(t; \delta)$ у СПО долучається до кластеру $\Omega(\delta; \lambda)$, тобто $P(\xi; \delta; \lambda) := P(t; \delta)$, якщо виконується умова:

$$sign(n(t; \delta)_{sb} - n(t; \delta)_\lambda) = 0 \Rightarrow n(\delta; \lambda)_{tr} = |\Omega(\delta; \lambda)| := |\Omega(\delta; \lambda)| + 1, t = \overline{1, T}.$$

Тут $P(\xi; \delta; \lambda)$ – ξ -а трансформанта у кластері $\Omega(\delta; \lambda)$; $n(\delta; \lambda)_{tr}$ – кількість трансформант у λ -му просторі однорідності. Загальна кількість кластерів для групи трансформант у СПО дорівнює Λ , $\lambda = \overline{1, \Lambda}$.

Кластеризація забезпечує вирівнювання кількості параметрів спектральних-СП для адекватного виявлення залежностей в послідовності трансформант. Відповідно поділ групи трансформант на простори однорідності дозволяє реалізувати процедуру обліку динамічних залежностей в між-трансформантному СПО просторі. Саме можна виявити особливості в між компонентами параметрів $\ell(t; \delta)_\alpha$ та $sign(t; \delta)_\alpha$ СП-слайсів (СПС): слайс $L(\delta)_\alpha^{(1)}$ довжин спектральних-СП; слайс $S(\delta)_\alpha^{(1)}$ рівнів спектральних СП.

4. Створення методу двійкового блочного кодування структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант в диференційно-нормованому просторі

Розглянемо обробку трансформант в межах окремого λ -го кластеру. В процесі кодування сукупності трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$, які належать до кластеру $\Omega(\delta; \lambda)$, потрібно враховувати наступні аспекти:

- кожна з трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$ представляється в спектрально-параметричному описі, $P(\xi; \delta; \lambda) = \{L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}; S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}\}$. Тут $L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ – структурні складові СПОТ ξ -ї трансформанти λ -го кластеру;

- кожна трансформанта $P(\xi; \delta; \lambda)$, $\xi = \overline{1, |\Omega(\delta; \lambda)|}$ даного кластеру містить однакову кількість $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ ЛКМ;

- існують залежності в структурно-параметричних СПС слайсах $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$:

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

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

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

для сукупності трансформант в межах λ -го кластеру. Такі залежності зумовлені однорідністю властивостей для відповідних спектральних суб-полос (ССП). Для врахування такої особливості

пропонується визначати верхні $\text{row } \{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}$, $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та нижні $\text{row } \{\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}$ та $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha \in S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ межі інтервалів визначеності для компонент відповідних СПС слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$.

З врахуванням обмежень $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ в напрямку слайсів відповідні реальні значення компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ ЛКМ будуть належить до менших інтервалів $\text{diap}(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $\text{diap}(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ визначеності. В такому випадку їх значення будуть усикатися знизу (**нормуватися**).

Для опису значимості скорочення величин $\text{diap}(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$, $\text{diap}(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ пропонується використовувати коефіцієнти $k(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, та $k(S(\delta; \lambda)_\alpha)$. Тоді для СПС слайсів в межах окремих кластерів виконуються умови:

$$\text{diap}(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}) < k(L(\delta; \lambda)_\alpha) \cdot \max_{\substack{1 \leq \alpha \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \\ 1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr} \\ 1 \leq \lambda \leq \Lambda}} \{\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\};$$

$$\text{diap}(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}) < k(S(\delta; \lambda)_\alpha) \cdot \max_{\substack{1 \leq \alpha \leq n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \\ 1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr} \\ 1 \leq \lambda \leq \Lambda}} \{\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha\}.$$

Тут коефіцієнти приймають значення в межах: $0 \leq k(L(\delta; \lambda)_\alpha) \leq 1$, $0 \leq k(S(\delta; \lambda)_\alpha) \leq 1$. Чим менше значення таких параметрів, тим меншим буде довжина інтервалу визначеності компонент відповідних СПС слайсів.

При цьому характер зміни значень параметрів $k(L(\delta; \lambda)_\alpha)$, $k(S(\delta; \lambda)_\alpha)$ від позиції α буде відрізнятися в залежності від типу структурно-параметричних компонент СПОТ. Оскільки складові СПОТ мають різне структурне походження, то будемо мати таке:

1) для компонент структурної складової $L(\xi; \delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$:

$$k(L(\delta; \lambda)_\alpha) \sim \alpha.$$

На позиціях вектору $L(\xi; \delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, які відповідають меншим значенням α довжина інтервалу визначеності **диференціально-нормованих** компонент $\overline{\ell}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ буде наближатися до нульового рівня;

2) для компонент складової $S(\xi; \delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ СПОТ-трансформанти буде:

$$(1 - k(S(\delta; \lambda)_\alpha)) \sim \alpha;$$

На позиціях вектору $S(\xi; \delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, які відповідають меншим значенням α довжина інтервалу визначеності **диференціально-нормованих** компонент $\overline{\text{sign}}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ буде найбільшою.

В результаті врахування наявності обмежень на нижню межу інтервалу визначеності компонент СПС слайсів $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ за всіма позиціями α , $\alpha = 1, n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ утворюються диференційно-нормовані складові $\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, $\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ СПОТ-трансформанти:

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

Звідси змінюється кількість $\text{Id}(P(\xi; \delta; \lambda))$ інформації у трансформанті $P(\xi; \delta; \lambda)$, що представлена складовими $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$, $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ її спектрально-параметричного опису. Величині $\text{Id}(P(\xi; \delta; \lambda))$ в залежності від характеру обмежень $F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap}$ та $F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap}$ в складових СПОТ в загальному вигляді описуються таким чином:

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

Тут величини $F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap}$ та $F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap}$ залежать від варіанту врахування додаткових залежностей для компонент в СПС слайсах $L(\delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}$ та $S(\delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}$, тобто :

$$\begin{aligned}F(L(\xi; \delta; \lambda))_{diap} &= \begin{cases} diap(L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}), \\ \rightarrow \text{pow}_{\ell(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} \in L(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}} \{ \ell(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} \}; \\ diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}), \\ \rightarrow \text{pow}_{\ell(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} \in L(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}} \{ \ell(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} - \min(L(\delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}) \}; \end{cases} \\ F(S(\xi; \delta; \lambda))_{diap} &= \begin{cases} diap(S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}), \\ \rightarrow \text{pow}_{sign(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} \in S(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}} \{ sign(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} \}; \\ diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}), \\ \rightarrow \text{pow}_{sign(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} \in S(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}} \{ sign(\xi; \delta; \lambda)_{\alpha} - \min(S(\delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}) \}. \end{cases}\end{aligned}$$

Звідси можна визначити кількість $\text{Id}(\text{loc}(\xi; \delta; \lambda))$ інформації, яка в середньому міститься в одній ЛКМ $\text{loc}(\xi; \delta; \lambda)$ для трансформанти в спектрально-параметричному описі $P(\xi; \delta; \lambda)$. Для цього використовується вираз:

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

Відповідно в залежності від варіанту встановлення обмежень на компоненти структурних складових СПОТ можливі два підходи до визначення кількості надмірності:

1. Перший підхід – визначення кількості $R(\text{loc}(\xi; \delta; \lambda))$ надмірності в перерахунку на одну ЛКМ СПОТ для варіанту, коли не враховуються додаткові залежності за СПС слайдами. Тоді величина $R(\text{loc}(\xi; \delta; \lambda))$ знаходиться за виразом:

$$R(\text{loc}(\xi; \delta; \lambda)) = 100 \cdot \frac{b_y \ell(\xi; \delta; \lambda) - (\log_2 diap(L(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}) \cdot diap(S(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}))}{b_y \ell(\xi; \delta; \lambda)} \%.$$

2. Другій підхід полягає у знаходженні кількості $R(\text{loc}(\xi; \delta; \lambda))$ надмірності в перерахунку на одну ЛКМ СПОТ у випадку, коли враховуються додаткові обмеження на інтервал визначеності значень компонент $\ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$, $\text{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$ за СПС слайсами $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$, $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$ для λ -го кластеру. Зважаючи це, величина $R(\overline{\text{loc}}(\xi; \delta; \lambda))$ оцінюється формулою:

$$R(\overline{\text{loc}}(\xi; \delta; \lambda)) = 100 \cdot \frac{b_y \ell(\xi; \delta; \lambda) - \log_2(\text{diap}(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)} \cdot \text{diap}(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)})}{b_y \ell(\xi; \delta; \lambda)} \%.$$

В даних виразах величина $b_y \ell(\xi; \delta; \lambda)$ означає кількість біт, яка в середньому міститься в одній спектральній суб-полоси (ССП) для СПОТ ξ -ї трансформанти λ -го кластеру

$$b_y \ell(\xi; \delta; \lambda) = \frac{b_y \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} \ell(\xi; \delta; \lambda)_\alpha}{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}}.$$

Таким чином, обґрунтовано потреба щодо формування просторів однорідності для групи трансформант загального відеопотоку для реалізації можливості обліку між-трансформантних залежностей в СПО масивів спектральних елементів. Це дозволяє узгодити під-групи однорідних трансформант за характеристиками їх СПО (кількості спектральних-СП).

Висновки

1. Розроблено модель опису трансформанти за параметрами спектрально-параметричного представлення з обліком утворення спектральних-СП.

2. Обґрунтовано потреба щодо формування просторів однорідності для групи трансформант загального відеопотоку для реалізації можливості обліку між-трансформантних залежностей в СПО масивів спектральних елементів. Це дозволяє узгодити під-групи однорідних трансформант за характеристиками їх СПО (кількості спектральних-СП).

3. Розроблено модель побудови просторів однорідності (кластерів) з групи трансформант на основі потужності СПО за кількістю спектральних СП. Це створює умови для реалізації процедури стиснення з додатковим вилученням кількості між-трансформантної надмірності в СПО-трансформант.

4. Створені моделі для оцінювання кількості надмірності в сукупності СПОТ представлених трансформант кластеру, яку зумовлено двома типами залежностей:

- спектрально-параметричних залежностей в трансформантах кластеру;
- між-трансформантних залежностей в структурно-параметричних слайсах для послідовності трансформант кластеру.

Це дозволяє оцінити додаткову кількість надмірності, яку потенційно можна скоротити на основі врахування міжтрансформантних обмежень за напрямком СПС слайсів.

2. Розроблено метод кодування структурних складових спектрально-параметричного опису кластеризованих трансформант в диференційно-нормованому просторі з врахуванням додаткових структурних обмежень в напрямку між-трансформантних слайсів кластеру. Основна концепція методу полягає в тому, що одночасне врахування обмежень на інтервали зміни значень в напрямку СПС слайсів та складових СПОТ здійснюється в процесі визначення ваги компонент блочного коду.

Список використаних літературних джерел

- [1] Алімпієв А.М. Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні / А.М. Алімпієв, В.В. Баранник, Т.В. Белікова, С.О. Сідченко // Системи обробки інформації. – Харків: ХНУПІС, 2017. – Вип. 4(150). – С. 113-121.
- [2] Barannik V., Stepanko O., Nikodem J., Jancarczyk D., Babenko Yu., Zawislak S. A 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] Wenyang Liu, Yi Wang, Kim-Hui Yap, Lap-Pui Chau. Bitstream-Corrupted JPEG Images Are Restorable: Two-Stage Compensation and Alignment Framework for Image Restoration. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2023,* PP. 9979-9988.
- [4] V. Barannik, N. Kharchenko, O. Kulitsa, V. Tverdokhleba, "The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality", in *13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016,* pp. 902-904. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452220.
- [5] Barannik, D., Kulitsa, O., Barannik, V.V., Tarasenko, D., 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.
- [6] Boyi Li, Wenqi Ren, Dengpan Fu, Dacheng Tao, Dan Feng, Wenjun Zeng, and Zhangyang Wang. Benchmarking singleimage dehazing and beyond. *IEEE Transactions on Image Processing.* – vol 28(1). – PP. 492–505, 2018.
- [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] Shamir A., Rivest R. L., Adleman L. M. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM.* 1978. Vol. 21. Iss. 2. P. 120–126. DOI: 10.1145/359340.359342.
- [9] Баранник В.В. 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] Belikova T. Decoding Method of Information-Psychological Destructions in the Phonetic Space of Information Resources. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of the 2nd IEEE International Conference, 2020.* P. 87–91. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349300>.
- [11] Yingkai Huang, Zhuxian Liu, Qiwen Wu, Xiaolong Liu. Robust image steganography against JPEG compression based on DCT residual modulation. *Signal Processing.* – Vol. 219. – 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2024.109431>.
- [12] X., Au O. C., Zhou J., Liu Tang Y. Y. Designing an Efficient Image Encryption-Then-Compression System via Prediction Error Clustering and Random Permutation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security.* 2014. Vol. 9, No. 1. P. 39–50. DOI: 10.1109/TIFS.2013.2291625.
- [13] Barannik, V. et al. (2023). Processing Marker Arrays of Clustered Transformants for Image Segments. 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_25.
- [14] Guojun Fan, Zhibin Pan, Quan Zhou, Jing Dong, Xiaoran Zhang. Pixel type classification based reversible data hiding for hyperspectral images. *Knowledge-Based Systems.* – vol. 254. – 2022. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109606>.
- [15] Barannik, V., Barannik, N., Sidchenko, S., Khimenko, A. The method of masking overhead compaction in video compression systems, *Radioelectronic and Computer Systems,* 2021, no. 2, pp. 51–63. doi: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.05>.
- [16] Tong Qiao, Shuai Wang, Xiangyang Luo, Zhiqiang Zhu. Robust steganography resisting JPEG compression by improving selection of cover element. – *Signal Processing.* – vol.183. – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108048>.
- [17] Xiuli Bi, Wuqing Yan, Bo Liu, Bin Xiao, Weisheng Li, Xinbo Gao. Self-Supervised Image Local Forgery Detection by JPEG Compression Trace. – *The Thirty-Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-23).* – vol. 37 (No. 1). – pp. 232 – 240. DOI: <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i1.25095>.

- [18] Genki Hamano, Shoko Imaizumi, 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>.
- [19] Nagamori, H.; Kiya, H. Combined Use of Federated Learning and Image Encryption for Privacy-Preserving Image Classification with Vision Transformer. *arXiv* 2023, *arXiv*:2301.09255.
- [20] Deshmukh, M. An (n, n) -Multi Secret Image Sharing Scheme Using Boolean XOR and Modular Arithmetic [Text] / M. Deshmukh, N. Nain, M. Ahmed // *Advanced Information Networking and Applications : proc. IEEE 30 th Int. Conf. (AINA), 23-25 March 2016. – Crans-Montana, Switzerland, 2016. – P. 690–697. DOI: 10.1109/aina.2016.56.*
- [21] Цімура Ю. В., Юдін О. К., Мельников О. Є., Коляденко Ю. Ю., Гуржій П. М.. Модель оцінювання інформативності спектрально-параметричного опису трансформованих відео фрагментів // *Наукоємні технології* № 4(60). – 2023. – С 423 – 429. doi: 10.18372/2310-5461.60.18272.
- [22] Barannik V., Barannik D. Barannik N., 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.*
- [23] Kiya, H., Aprilpyone, M., Kinoshita, Y., Imaizumi, S., Shiota, S. An Overview of Compressible and Learnable Image Transformation with Secret Key and Its Applications. *APSIPA Trans. Signal Inf. Process.* 2022, 11, e11. <http://dx.doi.org/10.1561/116.00000048>.
- [24] Wong K. W. Image encryption using chaotic maps. *Intelligent Computing Based on Chaos.* 2009. Vol. 184. P. 333–354. DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4_16.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Цімура Ю., Костромицький А., Суханов О., Думич С. Метод кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі // *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія.* – 2024. – Випуск 4 (1). – С 61 – 69. doi: 10.23939/ict2024.01.061.
- [28] Barannik V.V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (IEEE TCSET 2008): proceedings of IEEE International Conference, 2008. P. 378-380.*
- [29] 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
- [30] Цімура Ю.В., Бабенко Ю. М., Бучик С.С., Пчельніков 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>.

METHOD CODING OF CLUSTERED TRANSFORMANTS IN DIFFERENTIAL-NORMALIZED SPACE

V. Barannik¹, M. Babenko, E. Eliseev², Yu. Tsimura³

¹ V. N. Karazin Kharkiv National University, 6, Nezalezhnosti Avenue, Kharkiv, 61000, Ukraine

² Kharkiv National University of Radio Electronics, 14, Nauka Avenue, Kharkiv, 61166, Ukraine

³ Heroiv Krut Military Institute of Telecommunications and Informatization,
str. Kyivska, 45/1, Kyiv, 01011, Ukraine.

The article shows that one of the main purposes of projects for the development of informatization of the state is the proper provision of the necessary information to the centers of analysis and decision-making. It is important to comply with the requirements for the timeliness, reliability and security of information delivery processes. This contributes to the development of means of remote collection of information and its transmission using various technological solutions. Unmanned

aerial vehicles (UNV) are in the greatest demand. However, the article shows that in practice there are factors that limit the capabilities of telecommunications equipment. Then the timeliness and reliability of information transmission will be realized only for low-level image formats. On the other hand, the procedure of information analysis, including the use of intelligent analysis, puts forward factors for the implementation of higher-level image formats on the UNV. It is clear that a contradiction arises. This contradiction concerns the inconsistency between the permissible and required levels of image formats for unmanned vehicles. Localization of such collisions is possible by reducing the information load on the basis of taking into account certain features in the description of image fragments. In spectral space, such features of fragments have the following manifestation: the presence of sequences of spectral components with a not significant deviation of the span interval. The presence of such features is a prerequisite for the construction of compression methods in the spectral-parametric description of transformants (SPDT). Therefore, the aim of the article is to develop methods for compressing images based on their spectral-parametric description, taking into account higher-order dependencies. The necessity for the formation of homogeneity spaces for the group of transformants of the general video stream for the implementation of the possibility of accounting for inter-transformant dependencies in the SPD of arrays of spectral elements is substantiated. A model for constructing homogeneity spaces (clusters) from the transformant group based on the power of the SP by the number of spectral SP has been developed. This creates the conditions for the implementation of the compression procedure with the additional removal of the amount of inter-transformant redundancy in the SPD-transformant.

Keywords: *video encoding, transformant, compression, redundancy reduction.*