

DOI: 10.18372/2310-5461.62.18712
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
Військовий інститут 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/0000-0003-2385-2786
e-mail: mvbab@ukr.net;

Д. А. Тарасенко
ТОВ «Онлайн Консалтинг Сервіс»
orcid.org/0009-0006-0582-1619
e-mail: vvbar.off@gmail.com

МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ТРАНСФОРМАНТ ЗА СТРУКТУРНИМИ ОЗНАКАМИ ЇХ СПЕКТРАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ОПИСУ

Вступ

Бездротові технологічні концепції все більше займають ключову роль в сучасних інформаційно-телекомунікаційних системах (ІТС) [1; 2]. Такий процес супроводжується збільшенням рівня: наукоємності протоколів кодування та обміну інформацією; задіюються методи інтелектуального аналізу в процесах функціонування ІТС. Все це сприяє підвищенню продуктивності функціонування бездротових інформаційно-телекомунікаційних (ІТ) технологій в напрямку забезпечення надання інформаційних послуг [3; 4]. В тому числі останнім часом все більше зростає рівень взаємної інтеграції бездротових ІТС та роботизованих технологій з елементами штучного інтелекту. Прикладом таких застосувань є безпілотні апарати [8]. Відповідно виводиться на новий рівень питання забезпечення процесів інформаційного обміну та прийняття рішень в системах управління стратегічно-важливими галузями та підприємствами [5–7]. Практика показала, що затребуваність такого режиму взаємодії збільшується у разі надзвичайних подій та під час воєнного стану.

Розвиток технологічної бази сприяє подальшому вдосконаленню різних сервісів надання інформації. Найбільший запит мають послуги надання відеоінформації [9]. Тут зростає кількість користувачів та прикладних додатків, які використовують відеоінформацію для отримання відомостей та прийняття відповідних рішень.

В той же час спостерігаються тенденції зростання вимог до якості надання інформаційних послуг. Сюди відноситься: якість цифрованих відеокадрів або їх потоків; скорочення часових затримок в процесі обробки та передачі інформації; забезпечення потрібного рівня достовірності; збільшення вимог до рівня формату відеозображення [10; 11].

Виникає зворотне питання щодо можливостей забезпечення існуючих ІТС з бездротовим з'єднанням сучасних вимог користувачів. Тут практичне застосування таких ІТС вказує на недостатні характеристики за їх продуктивністю відносно тенденцій сервісів надання послуг з відеоінформації [12–14]. Тому такі обставини призводять до: виникнення часових затримок; втрати якості зображень або виникає падіння рівня їх формату. За таких умов виникає протиріччя між

існуючими можливостями забезпечення характеристик інформаційних сервісів та потрібним їх рівнем в умовах реалізації на сучасних бездротових ІТС.

Напрямок рішення такого протиріччя ґрунтується на вдосконаленні методів зменшення інтенсивності відео-трафіку, який обробляється та передається по бездротовим ІТС. Такий напрямок необхідно реалізовувати за умов збереження якості цифрових зображень. Тому зменшення інтенсивності відео-трафіку зі збереженням його якості за умов реалізації бездротових ІТС є актуальною *науково-прикладною задачею*.

Аналіз сучасних досліджень та постановка завдання

Сучасні методи стиснення відеоінформаційних потоків використовують платформи, які базуються на кодуванні трансформованих відеофрагментів (ВФР) [9–12]. Одним з апробованих напрямків тут є формування спектрально-параметричного опису трансформант (СПОТ). Прикладом такого підходу є побудова складових: вектора довжин спектральних субполос (ССП); вектора значущих рівнів ССП [13–16].

Розглянемо особливості обробки компонент таких структурних складових. Між компонентами структурних складових СПОТ є взаємозв'язок. По-перше, це зумовлено позиціями значущих компонент у трансформанті. Тому для значущих компонент, що мають найбільші значення, буде відповідати більш коротка довжина ССП. По-друге, для значущих компонент у зв'язку з процесами трансформування та квантизації буде характерний нерівномірний закон розподілу значень. Найбільшу ймовірність появи будуть мати компоненти з меншими значеннями. Такі властивості визначають етап обробки трансформанти, який полягає у побудові кодової конструкції для компонент структурних складових. Тут технології кодування поділяються на два підходи [17–20]:

1. Для першого підходу організується динамічне статичне кодування, де використовують контекстне моделювання. Контекстне моделювання необхідне для адаптації закону розподілу ймовірностей появи компонент СПОТ. Такий підхід дозволяє знизити кількість біт, що витрачаються на компоненти складових СПОТ [21–24]. Але в той же час потрібні додаткові бітові витрати на подання службової складової. Тут службові відомості містять інформацію про можливості розподілу компонент. Крім того, недолік такого підходу полягає у збільшенні часових затримок на обробку, пов'язаних із перерахуванням ймовірностей появи компонент складових СПОТ.

2. Другий підхід пов'язаний із статистичним кодуванням за фіксованими таблицями (статична реалізація статистичного кодеку). Це дозволяє скоротити затримку на обробку та бітові витрати на службову складову. Але з іншого боку знижується адаптованість статистичної моделі до змін структури складових СПОТ в залежності від рівня інформативності відео-фрагментів [25–27]. Це призводить до збільшення довжини коду інформаційної складової кодової конструкції.

Постановка проблеми

Наведені недоліки стримують ефективність існуючих технологій компресії зображень. Отже такі технології не забезпечують факторів щодо необхідної оперативності доставки стиснутих відеопотоків для заданого рівня візуальної якості їх візуального сприйняття після декомпресії. Для подальшого розвитку технологій кодування пропонується використовувати технології виявлення структурно-топологічних обмежень. Такі приклади показано в працях [28–30]. Водночас потрібно адаптувати створені концептуальні підходи до обробки спектрально-параметричного опису трансформанти за двома її структурними складовими, а саме: вектором довжин ССП та їх значущим рівнем. Відповідно потрібно визначити особливості означеного підходу щодо ефективності усунення кількості надмірності та зниження бітового об'єму відеозображень. Одним з таких технологічних рішень є застосування для виявлення областей однорідності методів кластеризації.

Звідси *мета статті* полягає в розробці методу кластеризації фрагментів кадрів в їх потоці, які попередньо представлені в спектрально-параметричному описі.

Побудова представлення пост-квантової трансформанти в спектрально-параметричному описі

Розглянемо загальну архітектуру спектрально-параметричного опису $P(t; \delta)$ для t -ої трансформанти (СПОТ) $Y(t; \delta)$. При цьому потрібно враховувати:

- одновимірний формат трансформанти двовимірного спектрального простору;
- двох-параметричну топологію архітектури трансформанти;
- правило квантування трансформанти (масиву спектральних компонент (МСК)), що описується векторною величиною δ .

Масив спектральних елементів в одновимірному описі $Y(t; \delta)^{(1)}$ перетворюється за структурою спектральних суб-полос (ССП) $sb(t; \delta)_\alpha$:

$$Y(t;\delta)^{(1)} = \{sb(t;\delta)_1; \dots; sb(t;\delta)_\alpha; \dots; \\ \dots; sb(t;\delta)_{n(t;\delta)_{sb}}\},$$

де $n(t;\delta)_{sb}$ – кількість ССП в масиві спектральних елементів.

При цьому в загальному випадку ССП можуть формуватися за різними принципами. Наприклад, найчастіше ССП будуються як послідовність компонент одновимірного спектрального масиву, значення яких:

- дорівнюють нулю (відповідно утворюються серія);
- мають незначний рівень відхилень один від одного в межах ССП.

Після чого перетворена за ССП форматом трансформанта представляється послідовністю локальних компонент $loc(t;\delta)_\alpha$ (ЛКМ). Кожна така ЛКМ $loc(t;\delta)_\alpha$ утворюється двома параметрами, тобто:

$$loc(t;\delta)_\alpha = \{\ell(t;\delta)_\alpha; sign(t;\delta)_\alpha\}.$$

Звідси для окремої спектральної суб-полоси $sb(t;\delta)_\alpha$ (ССП), маємо:

$$sb(t;\delta)_\alpha = \{y(t;\delta)_{\alpha,1}; \dots; y(t;\delta)_{\alpha,\xi}; \dots; \\ \dots; y(t;\delta)_{\alpha,\ell_\alpha}\} \rightarrow loc(t;\delta)_\alpha = \quad (1) \\ = \{\ell(t;\delta)_\alpha; sign(t;\delta)_\alpha\}$$

де $y(t;\delta)_{\alpha,\xi}$ – ξ -та компонента для α -ї ССП t -ої трансформанти.

Отже для опису локальної області трансформанти маємо:

- довжина $\ell(t;\delta)_\alpha$ спектральних субполос (ССП);
- значущий рівень $sign(t;\delta)_\alpha$ спектральних субполос.

В цьому випадку СПОТ-трансформанти $Y(t;\delta)^{(1)}$ складається двома компонентами:

1) вектор $L(t;\delta)^{(1)}$ довжин $\ell(t;\delta)_\alpha$ спектральних субполос (ДСС)

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

2) вектор $S(t;\delta)^{(1)}$ значущих рівнів $sign(t;\delta)_\alpha$ спектральних субполос (ЗРСП)

$$S(t;\delta)^{(1)} = \{sign(t;\delta)_1; \dots; sign(t;\delta)_\alpha; \dots; \\ \dots; sign(t;\delta)_{n(t;\delta)_{sb}}\}.$$

Відповідно СПОТ-трансформанти $Y(t;\delta)^{(1)}$ буде представлятись двовимірним масивом:

$$Y(t;\delta)^{(1)} \rightarrow P(t;\delta) = \{L(t;\delta)^{(1)}; S(t;\delta)^{(1)}\}$$

Такий масив має змінні розміри, а саме $2 \times n(t;\delta)_{sb}$, де $n(t;\delta)_{sb} = \text{var}$.

Кількість $n(t;\delta)_{sb}$ таких ЛКМ є змінною величиною.

Потрібно зауважити на те, що структурні характеристики складових $L(t;\delta)^{(1)}$, $S(t;\delta)^{(1)}$ СПОТ можна використовувати для визначення рівня $r(t)_{\text{inf}}$ інформативності ВФР. В даному випадку використовується наступна пост-спектральна залежність структура складових СПО для МСК від концентрації насиченості деталями початкових ВФР. Як, варіант може використовуватись наступна градація:

$$r(t)_{\text{inf}} \sim \Phi_{\text{inf}}(n(t;\delta)_{sb}; L(t;\delta)^{(1)}; S(t;\delta)^{(1)}), \quad (3)$$

де $\Phi_{\text{inf}}(n(t;\delta)_{sb}; L(t;\delta)^{(1)}; S(t;\delta)^{(1)})$ - функціонал встановлення залежностей між рівнем $r(t)_{\text{inf}}$ інформативності за деталізацією ВФР та структурними характеристиками складових СПОТ представлення.

Зрозуміло, що ВФР відноситься до класу з високим рівнем інформативності, якщо кількість $n(t;\delta)_{sb}$ ЛКМ в його СПОТ, є більшою ніж встановлене порогове значення $n(t;\delta)_{sb,\text{max}}$. Навпаки ВФР буде належить до класу з низьким рівнем інформативності, якщо кількість $n(t;\delta)_{sb}$ буде зменшуватись та не перевищувати порогову величину $n(t;\delta)_{sb,\text{min}}$.

Наявність визначеного рівня $r(t)_{\text{inf}}$ інформативності ВФР дозволяє надати оцінки щодо кількості психовізуальної надмірності. Кількість такої надмірності буде збільшуватись у разі зменшення довжин складових $L(t;\delta)^{(1)}$, $S(t;\delta)^{(1)}$ СПОТ. Зрозуміло, що в такому випадку збільшується потенціал щодо скорочення бітового об'єму. Для врахування таких особливостей пропонується обирати фактор-параметр δ адаптивно до рівня $r(t)_{\text{inf}}$.

Фактор-параметр δ використовується в процесі квантування елементів спектрального масиву. Під квантуванням розуміється процедура зменшення значень елементів МСК. Для цього використовується наступна формула:

$$y_{kv}(t;\delta)_{u,k} := \frac{y(t;\delta)_{u,k}}{1 + ((1+(u-1)+(k-1)) \times \delta)},$$

де $y(t;\delta)_{u,k}$ $y_{kv}(t;\delta)_{u,k}$ – відповідно початкове та пост-квантове значення $(u;k)$ -ї компоненти спектрального масиву $Y(t;\delta)$; $1 + ((1+(u-1)+$

$+(k-1) \times \delta$ - елемент квантувача $(u; k)$ -ї компоненти трансформанти.

За аналізу даного виразу можна заключити те, що у разі збільшення величини δ створюються умови для:

- зменшення кількості $n(t; \delta)_{sb}$ спектральних суб-полос та збільшення їх довжини $\ell(t; \delta)_\alpha \uparrow$;
- зниження значимого рівня $sign(t; \delta)_\alpha \downarrow$ ССП.

Відповідно це змінює структурні характеристики СПОТ. Відповідним чином забезпечується врахування психовізуальної надмірності на особливості структурної топології МСК у СПОТ-представленні.

За викладеним матеріалом можна заключити те, що побудовано представлення пост-квантової трансформанти за складовими спектрально-параметричного опису на основі виявлення структурних параметрів спектральних суб-полос з врахуванням рівня інформативності початкових ВФР.

Створення методу кластеризації послідовності трансформант за структурними ознаками їх спектрально-параметричного опису

Для додаткового збільшення рівня стиснення необхідно не обмежуватись врахуванням залежностей лише в середині відео-фрагменту (масиву спектральних компонент). Як варіант, потрібно використовувати залежності в міжтрансформантній послідовності. В цьому випадку існування міжтрансформантних залежностей для спектрально-параметричного опису послідовності трансформант зумовлено такими чинниками:

1) наявністю психовізуальних та статистичних залежностей для локально-групованої послідовності відео-фрагментів;

2) інтегруванням характерних особливостей відео-фрагментів в компонентах спектральних масивів;

3) наявністю залишкових статистичних залежностей в компонентах спектральних масивів;

4) можливістю регулювання характеристик СПОТ опусу трансформант шляхом квантування їх компонент;

5) наявністю статистичних залежностей для параметрів ССП локально-групованої послідовності трансформант.

Отже пропонується в процесі кодування додатково обліковувати залежності в СПОТ описі для послідовності трансформант. Однак в загальному випадку тут необхідно вирішати питання, яке стосується неоднорідності структурних ознак СПОТ в послідовності трансформант $P(\delta)_T$. Наприклад, трансформанти в СПОТ описі можуть містити різну кількість ССП. Це призводить до

неоднозначності врахування залежностей між такими трансформантами. Звідси для адекватного встановлення між-трансформантних залежностей необхідно досягти узгодженості характеристик для їх СПОТ-представлення.

Такий процес можна проводити наступними шляхами:

1. Перший шлях – декомпозиція ССП в залежності від номінальної кількості ССП. Розробка такого підходу узгодженості СПОТ сукупності трансформант розглядається в працях [29; 30]. Однак він має недоліки. Недолік полягає у тому, що декомпозиція ССП призводить до втрати переваги СПОТ-представлення трансформанти. Дійсно, за рахунок декомпозиції з'являється більша кількість ЛКМ. Це фактично відповідає варіанту зменшення кількості структурної надмірності, яку потенційно можна скоротити в масиві спектральних компонент шляхом виявлення ССП. Тому можна сказати те, що такий варіант узгодженості фактично супроводжується втратою потенціалу щодо скорочення кількості надмірності.

2. Другий шлях – розподілити трансформанти на сукупності (кластери) з однорідними значеннями характеристик СПОТ. В цьому випадку структура СПОТ не руйнується. Звідси даний шлях *пропонується* обирати за основу.

Розглянемо процес узгодженості трансформант в умовах їх СПОТ представлення на основі кластеризації за структурними ознаками.

Розглянемо послідовність $P(\delta)_T$:

$$P(\delta)_T = \{P(1; \delta); \dots; P(t; \delta); \dots; P(T; \delta)\}$$

трансформант $P(t; \delta)$, які представлені в спектрально-параметричному описі. Відповідна кожна з таких трансформант характеризується кількістю $n(t; \delta)_{sb}$ локальних компонент (спектральних суб-полос). Відповідно для послідовності $P(\delta)_T$ утворюється характеристичний вектор $n(\delta)_{sb}$:

$$n(\delta)_{sb} = \{n(1; \delta)_{sb}; \dots; n(t; \delta)_{sb}; \dots; n(T; \delta)_{sb}\}.$$

Кількість $n(t; \delta)_{sb}$ ЛКМ для кожної трансформанти відповідно до виразу (2) залежить від рівня $r(t)_{inf}$ інформативності початкового відео-фрагменту та стратегії $F(t; \delta)_{kv}$ квантування спектрального простору. Отже значення величин $n(t; \delta)_{sb}$ в послідовності $n(\delta)_{sb}$ є змінними.

Водночас для врахування динамічних залежностей в спектрально-параметричному міжтрансформантному просторі потрібно виявляти особливості в між компонентами $\ell(t; \delta)_\alpha$, $sign(t; \delta)_\alpha$ структурно-параметричні слайси (СПС): слайс $L(\delta)_\alpha^{(1)}$ довжин ССП; слайс $S(\delta)_\alpha^{(1)}$ значимих

компонент ССП. Звідси необхідно вирівняти кількість ЛКМ для адекватного виявлення залежностей в послідовності трансформант.

Для цього пропонується розділяти трансформанти $P(t; \delta)$ із загальної послідовності $P(\delta)_T$ на кластери $\Omega(\delta; \lambda)$. Кожен такий кластер утворюється трансформантами з однорідними (або рівними) характеристиками за кількістю $n(t; \delta)_{sb}$ ЛКМ. Необхідно сформувати сукупності $\Omega(\delta; \lambda)$ (групи) трансформант $P(t; \delta)$ з однорідними структурними характеристиками в СПОТ-просторі, а саме за кількістю $n(t; \delta)_{sb}$ локальних компонент $loc(t; \delta)_\alpha$ (ЛКМ) (або кількістю ССП в трансформанті).

Для цього пропонується попередньо здійснювати їх кластеризацію за наступним правилом:

$$\begin{aligned} n(t; \delta)_\lambda \leq n(t; \delta)_{sb} \leq n(t; \delta)_{\lambda+1} \rightarrow \\ \rightarrow P(\xi; \delta; \lambda) := P(t; \delta) | P(\xi; \delta; \lambda) \in \Omega(\delta; \lambda); \quad (4) \\ t = \overline{1, T}; \lambda = \overline{1, \Lambda}. \end{aligned}$$

Тут λ - індекс градації значень $n(t; \delta)_{sb}$ для загальної послідовності трансформант $Y(t; \delta)^{(1)}$.

Загальна кількість n_{cl} кластерів залежить від кількості градацій Λ , на яку поділяється діапазон зміни значень величин $n(t; \delta)_{sb}$ в сукупності $n(\delta)_{sb}$, тобто: $n_{cl} = \Lambda$. Відповідно кожен кластер $\Omega(\delta; \lambda)$ буде містити трансформанти $P(\xi; \delta; \lambda)$ з однорідною кількістю $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$ ЛКМ.

Кількість $n(\delta; \lambda)_{tr}$ трансформант $P(\xi; \delta; \lambda)$ в λ -му кластері (потужність кластеру $\Omega(\delta; \lambda)$) позначатимемо $|\Omega(\delta; \lambda)|$, $n(\delta; \lambda)_{tr} = |\Omega(\delta; \lambda)|$. Тобто $\xi = \overline{1, |\Omega(\delta; \lambda)|}$. Тоді маємо:

$$\begin{aligned} \Omega(\delta; \lambda) = \{P(1; \delta; \lambda); \dots; P(\xi; \delta; \lambda); \dots; \\ P(n(t; \delta; \lambda)_{sb}; \delta; \lambda)\}. \end{aligned}$$

За результатами кластеризації всієї послідовності $P(\delta)_T$ будується сукупність кластерів $\Omega(\delta)$:

$$\Omega(\delta) = \{\Omega(\delta; 1); \dots; \Omega(\delta; \lambda); \dots; \Omega(\delta; \Lambda)\}.$$

Звідси маємо: $P(\delta)_T \xrightarrow{n(\delta; \lambda)_{tr}} \Omega(\delta)$.

Для маркування належності трансформанти $P(t; \delta)$ до обраного кластеру $\Omega(\delta; \lambda)$, тобто $P(\xi; \delta; \lambda) := P(t; \delta)$, використовується маркер λ . Зрозуміло, що кількість таких маркерів буде дорівнювати Λ . Трансформанта $P(t; \delta)$ помічається маркером, значення якого дорівнює λ , у разі виконання нерівності $n(t; \delta)_\lambda \leq n(t; \delta)_{sb} \leq n(t; \delta)_{\lambda+1}$

для структурної ознаки $n(t; \delta)_{sb}$ її СПОТ-представлення.

Висновки

Побудовано представлення пост-квантової трансформанти за складовими спектрально-параметричного опису на основі виявлення структурних параметрів спектральних суб-полос з врахуванням рівня інформативності початкових ВФР.

Обґрунтовано те, що для додаткового збільшення рівня стиснення відеокадрів потрібно враховувати між-трансформантні залежності в їх СПОТ описі;

Обґрунтовано необхідність узгодженості послідовності трансформант за структурними ознаками їх спектрально-параметричного опису на основі відповідної кластеризації;

Розроблено метод кластеризації послідовності трансформант за структурною ознакою їх спектрально-параметричного опису. Базовою особливістю методу є групування трансформант до кластерів за кількістю спектральних суб-полос в їх СПОТ-представленні. При цьому кількість обчислювальних операцій зводиться до двох операцій порівняння щодо визначеності належності величини $n(t; \delta)_{sb}$ до певного інтервалу. Відповідно забезпечуються умови для виключення кількості між-трансформантної надмірності в їх спектрально-параметричному описі.

Наукова новизна

Отримано подальший розвиток метод кластеризації трансформант на основі структурних ознак спектрального опису. Відмінності методу полягають в тому, що процес кластеризації проводиться за визначеною кількістю спектральних суб-полос без руйнування характеристик їх спектрально-параметричного опису. Це дозволяє за допустимою обчислювальною затримкою забезпечити умови щодо врахування між-трансформантних залежностей в їх СПОТ представленнях.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Dworetzky E., Kaziakhmedov Ed., Fridrich J. Advancing the JPEG Compatibility Attack: Theory, Performance, Robustness, and Practice. *Proceedings of the 2023 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security*. 2023. pp. 67–79. doi:10.1145/3577163.3595090.
- [2] 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. doi: 10.1109/SAIC.2018.8516889.

- [3] João Ascenso, Elena Alshina, Touradj Ebrahimi. The JPEG AI Standard: Providing Efficient Human and Machine Visual Data Consumption. *IEEE MultiMedia*. 2023. vol 30, (Issue 1). doi: 10.1109/MMUL.2023.3245919.
- [4] 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: doi: 10.18372/2310-5461.56.17130.
- [5] 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: 10.1109/MCSoc60832.2023.00068.
- [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] Козловський В., Толстікова О., Савченко А., Клобукова Л. Критерії вибору спектрально-ефективних сигналів у бездротових інформаційних мережах. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 286–273. doi: 10.18372/2310-5461.56.17125.
- [8] 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*. 2023. Vol. 229, Part A. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120416.
- [9] Belikova T., Sidchenko S. 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), 2022, pp. 106-110, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024206.
- [10] Kolesnyk V., Berchanov A., Krasnorutsky A., Barannik V., Kharchenko N. and Malko O. Method of Structural-Statistical Coding of Video Segments in Spectral-Cluster Space. 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine. 2022. PP. 32–37, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024240.
- [11] 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*. Oct. 2021. Vol. 31 (Issue 10). PP. 3736–3764. doi: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.
- [12] Barannik V., Babenko Y., Barannik V., Khimenko A., Kulitsa O., Matviichuk-Yudina O. 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). 2020. P. 52–56. doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [13] 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
- [14] Barannik V., Onyshchenko R., Krasnorutsky A. and Barannik D. 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. P. 53–56, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [15] Bas P., Filler T. and Pevný T. 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. Prague, Czech Republic, 2011. P. 59–70. doi: 10.1007/978-3-642-24178-9_5.
- [16] Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T.807. 2007. 108 p.
- [17] 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. P. 19627–19638. doi: 10.1109/CVPR52729.2023.01880.
- [18] Sullivan G. J., Ohm J.-R., Han W.-J. and Wiegand T. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. Vol. 22 (Issue. 12). P. 1649–1668. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191
- [19] Barannik V., Babenko Y., Barannik V., Kolesnyk V., Zhuikov D. Method Taking into Account Level of Structural and Statistical Saturation of Video Segments in the Coding Process, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine. 2022. P. 66–71, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193.
- [20] Tsimura Yurii, Barannik Vladimir, Hurzhii Pavlo, Ustyomenko Fedir, Barannik Dmitry, Manakov Volodymyr Method of selective video segment processing for intelligent video image quality enhancement technologies. 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine. 2023. P. 217–220, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452422.

- [21] Barannik V. and Shiryaev A. Quadrature compression of images in polyadic space, Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. 2012. P. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484
- [22] 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. doi: 10.32620/reks.2021.4.
- [23] 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.
- [24] Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnik V., Barannik V., Pchelnykov S., Zeleny P. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks. Radioelectronic and Computer Systems. 2022. N 4(100). P. 10–24. doi: 10.32620/reks.2022.5/09.
- [25] Barannik, V. et al. 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, 2023. Vol. 965. Springer, Switzerland, Cham. doi: 10.1007/978-3-031-24963-1_26.
- [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] Barannik, V. et al. 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. 2023. Vol 965. Springer, Switzerland, Cham. doi: 10.1007/978-3-031-24963-1_25.
- [28] Цімура Ю., Костромицький А., Суханов О., Думич С. Метод кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі. Інфо-комунікаційні технології та електронна інженерія. 2024. Вип. 4 (1). С. 61–69. doi: 10.23939/ictee2024.01.061.
- [29] 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. 2023. № 4(60). С. 423–429. doi: 10.18372/2310-5461.60.18272.
- [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: 10.18372/2310-5461.57.17441

Баранник В. В., Єлісєєв Є. С., Цімура Ю. В., Бабенко М. В., Тарасенко Д. А. МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ТРАНСФОРМАНТ ЗА СТРУКТУРНИМИ ОЗНАКАМИ ЇХ СПЕКТРАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ОПИСУ

В статті обґрунтовується, що бездротові технологічні концепції все більше займають ключову роль в сучасних інформаційно-телекомунікаційних системах (ІТС). Відповідно виводиться на новий рівень питання забезпечення процесів інформаційного обміну та прийняття рішень в системах управління стратегічно-важливими галузями та підприємствами. В той же час спостерігаються тенденції зростання вимог до якості надання інформаційних послуг. Практичне застосування ІТС вказує на недостатні характеристики за їх продуктивністю відносно тенденції сервісів надання послуг з відеоінформації. За таких умов слідує протиріччя між існуючими можливостями забезпечення характеристик інформаційних сервісів та потрібним їх рівнем в умовах реалізації на сучасних бездротових ІТ системах. Напрямок рішення такого протиріччя ґрунтується на вдосконаленні методів зменшення інтенсивності відео-трафіку, який обробляється та передається по бездротовим ІТ системам. Сучасні методи стиснення відеоінформаційних потоків використовують платформи, які базуються на кодуванні трансформованих відео-фрагментів (ВФР). Одним з апробованих напрямком тут є формування спектрально-параметричного опису трансформант (СПОТ). Відповідно потрібно визначити особливості означного підходу щодо ефективності усунення кількості надмірності та зниження бітового об'єму відеозображень. Одним з таких технологічних рішень є застосування для виявлення областей однорідності методів кластеризації. Звідси мета статті полягає в розробці методу кластеризації фрагментів кадрів в їх потоці, які попередньо представлені в спектрально-параметричному описі. Розроблено метод кластеризації послідовності трансформант за структурною ознакою їх спектрально-параметричного опису. Базовою особливістю методу є групування трансформант до кластерів за кількістю спектральних суб-полос в їх СПОТ-представлені. При цьому кількість обчислювальних операцій зводиться до двох операцій порівняння щодо визначеності належності параметрів СПОТ до певного інтервалу. Відповідно забезпечуються умови для виключення кількості між-трансформантної надмірності в їх спектрально-параметричному описі.

Ключові слова: інформаційно-телекомунікаційні системи, відеопотік, стиснення відеоданих, спектрально-параметричний опис, кластер, якість сервісу надання інформації.

Barannik V., Babenko M., Eliseev E., Tsimura Yu., Tarasenko D.
METHOD CLUSTERING A SEQUENCE OF TRANSFORMANTS BY STRUCTURAL FEATURES THEIR SPECTRAL-PARAMETRIC DESCRIPTION

The article substantiates that wireless technological concepts increasingly occupy a key role in modern information and telecommunication systems (ITS). Accordingly, the issue of ensuring the processes of information exchange and decision-making in the management systems of strategically important industries and enterprises is brought to a new level. At the same time, there is a tendency to increase the requirements for the quality of information services. The practical application of IT systems indicates insufficient characteristics in terms of their performance in relation to trends in the provision of video information services. Under such conditions, there is a contradiction between the existing possibilities of ensuring the characteristics of information services and their required level in the conditions of implementation on modern wireless IT systems. The direction of solving this contradiction is based on improving methods to reduce the intensity of video traffic that is processed and transmitted over wireless IT systems. Modern methods of compression of video information streams use platforms that are based on the encoding of transformed video fragments (VF). One of the proven directions here is the formation of a spectral-parametric description of transformants (SPDT). Accordingly, it is necessary to determine the features of this approach in terms of the effectiveness of eliminating the amount of redundancy and reducing the bit volume of video images. One of these technological solutions is the use of clustering methods to identify areas of homogeneity. Hence, the purpose of the article is to develop a method for clustering fragments of frames in their stream, which are previously presented in the spectral-parametric description. A method of clustering a sequence of transformants according to the structural feature of their spectral-parametric description has been developed. The basic feature of the method is the grouping of transformants into clusters by the number of spectral sub-bands in their spot representation. At the same time, the number of computing operations is reduced to two comparison operations regarding the certainty of belonging of the SPDT parameters to a certain interval. Accordingly, conditions are provided for the exclusion of the amount of inter-transformant redundancy in their spectral-parametric description.

Keywords: information and telecommunication systems, video stream, video data compression, spectral-parametric description, cluster, quality of information services.

Стаття надійшла до редакції 05.05.2024 р.
Прийнято до друку 12.06.2024 р.