

М. В. Пархоменко

Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
orcid.org/0000-0001-6062-7743
e-mail: maxpro@gmail.com

МЕТОД КОДУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИХ КООРДИНАТ ФРЕЙМ-СПЛАЙНОВОГО ТЕНЗОРУ В ЗМІШАНОМУ МУЛЬТИАДИЧНОМУ ПРОСТОРИ

Вступ

Розвиток інформаційних та телекомунікаційних технологій (ІТ) дозволяє покращити ефективність надання сервісів перевести їх на новий якісний рівень та запровадити принципово нові інформаційні сервісні послуги. Однак з іншого боку такий потенціал створює умови для перше різкого зростання вимог щодо якості сервісів; по-друге з'являються можливості використовувати підходи для інформаційного забезпечення принципово в нових сферах діяльності суспільства та держави, в тому числі для систем критичної інфраструктури. Але ж в цьому випадку виникають проблемні питання відносно підвищення якості надання динамічних відеоінформаційних сервісів з використанням мобільних інфокомунікаційних платформ, як наземного, так й аерокосмічного базування [1–4]. Звідки підвищення ефективності інформаційних технологій обробки та передачі динамічних відеоресурсів з використанням мобільних інфокомунікаційних платформ є актуальною науково-прикладною проблематикою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вирішення таких завдань покладено на використання технологій сімейства MPEG та H26* [3–20]. Водночас для існуючих методів кодування динамічних відеоресурсів властиві характерні недоліки, які полягають у: низькому рівні зниження інтенсивності потоку відеокадрів в режимі збереження достатнього рівня їх достовірності; обмеженість щодо забезпечення стійкості до помилок в каналі зв'язку; низьку ефективність у разі обробки потоку кадрів складного структурно-семантичного контенту [15–35]. Такі недоліки пов'язані в тому числі низькою ефективністю скорочення між кадровою надмірності.

Отже, удосконалення технологій кодування послідовності кадрів, а саме потоку кадрів В-Р типів, є одним з суттєвих напрямків збільшення ефективності функціонування інформаційних технологій обробки та передачі динамічних

відеоресурсів [12–22]. У цьому напрямку пропонується формувати тензорні структури для послідовності диференціально-представлених блоків відеокадрів у спектральному просторі. При цьому для збільшення кількості надмірності, яка усувається, пропонується з початку провести формування структурних сплайнів для трансформованих блоків.

Тут створюються два типа параметрів таких сплайнів, а саме позиційна координата та спектральна координата.

Отже *мета статті* полягає в розробці методу ефективного кодування сукупності позиційних координат для динамічної послідовності В-Р кадрів.

Обґрунтування напрямку для формування нової концепції по обробці динамічних відеоресурсів

Для додаткового зменшення часових затримок на доставку динамічного відеоінформаційного ресурсу пропонується здійснювати ефективно *динамічне кодування* сукупності $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ нормованого одноелементного фрейм-сплайнового тензору (ОФСТ) $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ в змішаному мультиадичному просторі.

Сукупність $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ модифікованих позиційних координат $\ell'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ структурних сплайнів у межах одного фрейму, який формується для $(\chi;\gamma)$ -го ТД-блоку τ -го В-Р кадру, позначається так:

$$L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma} = \{\ell'(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma}; \dots; \ell'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}; \dots; \ell'(\tau;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma}\}^{-1}$$

Векторна величина $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$, що утворюється складовою нормованого фрейму за позиційними координатами структурних сплайнів *називається позиційною координатою нормованого фрейму в ТД-кадрі*.

Відповідно динамічна послідовність $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ фреймів з координатами $(\chi;\gamma)$ в КТ-структурі за τ , тобто які належать нормованому одноелементному фрейм-сплайновому тензору (НОФСТ) $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ для послідовності В-Р кадрів, утворює відповідну **позиційну координату нормованого ОФС-тензору**, а саме:

$$L'(T-1)_{\chi,\gamma} = \{L'(2;\delta)_{\chi,\gamma}; \dots; L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}; \dots; L'(T;\delta)_{\chi,\gamma}\}.$$

При цьому, оскільки величина $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ є векторною, то $(\chi;\gamma)$ -та позиційна координата $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензора представляється у вигляді двовимірного масиву (блоку). Тут векторна величина $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ є τ -м стовбцем блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, а відповідно вектор $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ являють собою u -у строку блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, тобто:

$$L'(\delta)_{u,\chi,\gamma} = \{L'(2;\delta)_{u,\chi,\gamma}; \dots; L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}; \dots; L'(T;\delta)_{u,\chi,\gamma}\}.$$

Проведемо розробку підходу відносно компактного синтаксичного представлення декомпанованих позиційних координат $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ нормованого одноелементного фрейм-спланового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Для цього обґрунтуємо характеристики блоків $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Оскільки параметри структурних сплайнів формуються для диференціально-представлених блоків кадрів В-Р типів в спектральному просторі, то можна виділити такі особливості:

1. Для значень $L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ позиційних координат структурних сплайнів $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, які розташовані з початку фреймів, тобто $u' \rightarrow 1$ проявляється обмеженість динамічних діапазонів, аж до нульового значення, $L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} \xrightarrow{u' \rightarrow 1} 0$.

У такому випадку для векторів $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$, які представляють зріз по u -й строки блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ буде характерне обмеженість значень $d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ динамічних діапазонів аж до нульового рівня.

Динамічний діапазон $d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ для елементів векторів $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ відносно нульового рівня (**режим абсолютного індексування**) визначається залежно від максимального значення $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\max)}$ u' -й строки $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$.

Це обчислюється за формулою:

$$L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\max)} = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}\};$$

$$d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} = L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\max)} + 1.$$

Зрозуміло, що для величин $d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ відповідної позиційним координатам, що сформовані для низькочастотних областей ТД-блоку, виконується така залежність

$$d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0.$$

2. Навпаки для позиційних координат $L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ структурних сплайнів $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, що створені для області високочастотних компонент ТД-блоків В-Р кадрів, тобто які розташовані в кінці фреймів, характерно найбільші значення. Тоді буде правильна умова:

$$L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} \xrightarrow{u' \rightarrow U(\chi,\gamma)} w \cdot w,$$

де $w \cdot w$ — розмір фреймів $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$.

З врахуванням чого величини $L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ в динамічній послідовності $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ НОФС-тензору, у разі коли $u' \rightarrow U(\chi,\gamma)$ будуть:

- з одного боку мати максимальні значення, що відповідає верхній межі динамічного діапазону;

- з іншого боку матимуть нижню границю $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)}$ динамічного діапазону значень $L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, $\tau = \overline{2, O}$, яка суттєво перевищує рівень 1, а саме: $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} \xrightarrow{u' \rightarrow U(\chi,\gamma)} \gg \gg 1$.

Тут мінімальне значення $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)}$ відповідно u' -ї строки $L(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ обчислюється за такою формулою:

$$L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} = \min_{2 \leq \tau \leq T} \{L'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}\}.$$

Сумуючи отримані результати досліджень можна зробити такі твердження:

1) ураховуючи наявність обмеженості динамічних діапазонів позиційних координат нормованого ОФС-тензора, що сформовані для низькочастотних та середньочастотних областей ТД-блоку, **пропонується** будувати блочні коди в мультиадичному просторі;

2) приймаючи до уваги те, що позиційні координати НОФС-тензору, що утворені для областей високих частот ТД-блоку, мають суттєво вищі значення нижньої границі динамічного діапазону, то **пропонується** здійснювати блочне кодування в різницевому мультиадичному просторі. У цьому випадку структурна надмірність буде одразу зумовлена наявністю обмежень на нижню та верхню границі динамічного діапазону.

Тому *пропонується* організувати блочне кодування позиційних координат нормованих одноелементних фрейм-спланових тензорів в змішаному мультіадичному просторі.

Створення технології кодування позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів

Під *змішаним мультіадичному просторі* розуміється представлення блоку даних одночасно в двох режимах виявлення структурних обмежень, а саме [13; 14]:

$$- \text{ у разі коли виконується умова } d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0,$$

то позиційні координати НОФС-тензора розглядаються в абсолютному мультіадичному просторі, а нижньою границею динамічного діапазону буде нульовий рівень;

- навпаки, якщо, проявляється умова, коли $\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)} \gg \gg 1$, то позиційні координати як динамічна послідовність у межах НОФС-тензору В-Р кадрів буде представлятися в різницевому мультіадичному просторі.

Представлення позиційних координат $\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)}$ відповідно u' -ї строки $L(\delta)_{u',\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензору $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів у різницевому мультіадичному просторі проводиться з використанням тпких виразів:

1) знаходяться динамічні діапазони $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ векторів $L(\delta)_{u',\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензору $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ в різницевому мультіадичному просторі. Для цього виконується така дія:

$$\begin{aligned} \overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)} &= \ell'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\max)} - \ell'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} + 1 = \\ &= \max_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} \} - \min_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} \} + 1; \\ &u = \overline{1, U(\chi, \gamma)}, \end{aligned}$$

де $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ — динамічний діапазон в різницевому мультіадичному просторі для u -ї строки $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, з урахуванням величини $\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)}$;

2) здійснюється перерахунок значень позиційних координат $\ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}$ з абсолютного в різницевий мультіадичний простір. Для чого, враховуючі, що

$$\ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} > \ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)},$$

виконують такі математичні операції:

$$\overline{\ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}} = \ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} - \overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)},$$

$$u = \overline{1, U(\chi, \gamma)}.$$

У цій формулі величина $\overline{\ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}}$ є позиційною координатою НОФС-тензора в різницевому мультіадичному просторі.

Отже, після виконання цих технологічних етапів отримуємо опис нормованого ОФС-тензора в змішаному мультіадичному просторі. Це задається такою системою виразів стосовно визначення основаній $g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ змішаного мультіадичного (ЗМ) простору:

- для системи основ:

$$g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} = \begin{cases} d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}, \rightarrow d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0; \\ \overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}, \rightarrow \ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)} \gg \gg 1; \end{cases} \quad (1)$$

- для елементів $\rho(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}$ ЗМ простору:

$$\begin{aligned} \rho(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} &= \\ &= \begin{cases} \ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}, & \rightarrow g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} = d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}; \\ \ell'(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} - \ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)}, & \rightarrow g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} = \overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}. \end{cases} \end{aligned}$$

Водночас, незалежно від умов відносно обмежень на значення динамічного діапазону, можлива ситуація, коли виконується така умова:

$$\rho(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} \rightarrow g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$$

відносно концентрації значень позиційних координат динамічної послідовності на базі нормованого ОФС-тензора.

У цьому випадку більш ефективно здійснювати індексування блоків $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ відносно верхньої границі динамічного діапазону позиційних координат.

Тоді у випадку вибору верхньої границі $g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ динамічного діапазону як початку індексування чисел у змішаному мультіадичному просторі, отримаємо такі вирази для перерахунку позиційних координат:

$$\rho''(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} = g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma} - 1.$$

У даній формулі величина $\rho''(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}$ визначається як позиційна координата нормованого ОФС-тензора в змішаному поліадичному просторі в умовах початку індексування відносно верхнього рівня $g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ динамічного діапазону.

У загальному випадку представлення позиційних координат як елементів $\Delta\rho(\tau; \delta)_{u',\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ в умовах урахування двох варіантів початку індексування описується таким співвідношенням:

$$\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} = \begin{cases} \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \leq g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - 1; \\ \rho''(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} > g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - 1. \end{cases}$$

Тут $\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ — позиційна координата блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ в змішаному мультіадичному просторі в умовах урахування двох варіантів початку їх індексування.

При цьому система основаного змішаного мультіадичного простору остається незмінною, та задається системою виразів (1).

Експериментальні дослідження

Для розробленої технології (РТ) обробки потоку передбачених кадрів зменшення бітової інтенсивності досягається не лише в результаті усунення психовізуальної надмірності, але і шляхом виключення структурної надмірності, обумовленої у тому числі наявністю стаціонарного фону для динамічних об'єктів. Зниження бітової інтенсивності призводить до зменшення часових затримок T_c , пов'язаних з доведенням

кодового потоку по інформаційно-телекомунікаційній мережі. Такий висновок підтверджується даними оцінки величини T_c що розглядається на рисунку.

На графіках рисунка показано, що затримки відеопотоку формату HD з частотою 30 кадрів/с, для швидкості передачі по мережі 32 Мбіт/с — знаходяться в діапазоні від 0,17 до 3 із залежно від пікового відношення сигнал/шум.

Затримка скорочується пропорційно зниженню бітової швидкості, тобто на 17% — для ПВСШ до 40 дБ і на 25% — для ПВСШ 48–50 дБ. При цьому передачі кодового відеопотоку в реальному часі забезпечується для ПВСШ 32–44 дБ.

Тоді як для технології MPEG-2 передача в реальному часі забезпечується для ПВСШ на рівні що не перевищує 40 дБ.

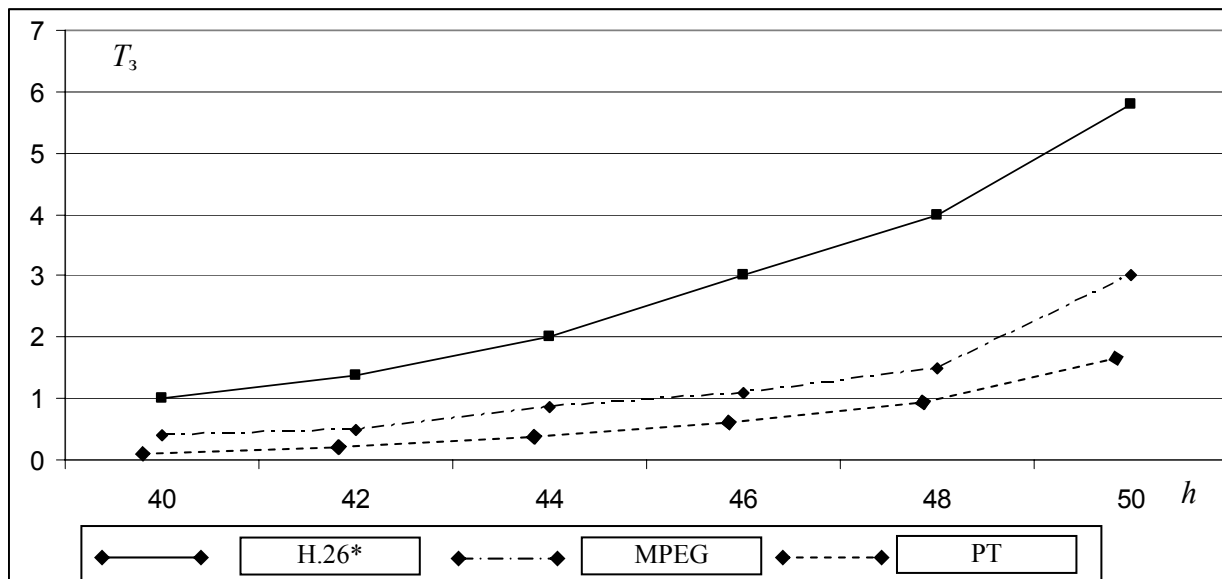


Рис. 1. Залежність T_3 в режимі 1 від h

Висновки

1. Обґрунтовано необхідність підвищення ефективності компактного синтаксичного представлення послідовності В-Р кадрів для інформаційних технологій оброблення та передавання динамічних відеоресурсів.

2. Розроблено модель та показано переваги підходу щодо кодування послідовності кадрів В-Р типів на основі побудови структурних сплайнів та відповідних їх фреймових структур для диференційованих блоків кадрів у трансформованому просторі. Для підвищення кількості надмірності, яку потенційно допустимо усунути запропоновано утворювати сукупності фрейм-

сплайнів для динамічної послідовності ТД-блоків. У цьому випадку скорочується статистична, психовізуальна та структурна надмірність відеопослідовності на основі виявлення відповідних закономірностей, як внутрі кадрів, так й між ними.

3. Створено метод ефективного кодування позиційних координат одноелементних фрейм-сплайнових тензорів послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного представлення. Метод базується на таких технологічних етапах: формування змішаного мультіадичного простору для сукупності позиційних координат фрейм-сплайнового тензору шляхом

виявлення нижніх та верхніх меж динамічних діапазонів та приведення їх в різницевий опис; створення технологічного механізму щодо селекції компонент блоку позиційних координат фрейм-сплайнового тензору для режимів представлення в абсолютному та різницевому мультіадичному просторі; побудова технології двоплюсного мільтиадичного кодування в змішаному просторі шляхом оцінки кількості надмірності, яку потенційно можна буди усунено; технологічний концепт відносно безпосереднього формування кодових значень для мультіадичний послідовностей на базу позиційних координат фреймових структур в змішаному просторі.

Створений підхід щодо кодування послідовності кадрів В-Р типів забезпечує підвищення ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі динамічних відео ресурсів. А саме: зменшити часові затримки на доставку динамічних відеоресурсів сервісів реального часу в середньому на 17–23 % залежно від типу інформаційного контенту; збільшити рівень цілісності інформації, який з позиції оцінки пікового відношення сигнал/шум становить 19 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Kobayashi, H.** and Kiya, H. Bitstream-Based JPEG Image Encryption with File-Size Preserving. In: IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 1–4 (2018). DOI: 10.1109/gcce.2018.8574605.
2. **Barannik, V.**, Krasnoruckiy, A. and Hahanova, A. The positional structural-weight coding of the binary view of transformants. In: East-West Design & Test Symposium (EWDTS), pp. 1–4. Rostov-on-Don (2013). DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673178.
3. **Announcing** the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES). Federal Information Processing Standards Publication, 197 (2001).
4. **DSTU 7624:2014.** Information Technology. Cryptographic protection of information. Symmetric block transformation algorithm. Order of the Ministry of Economic Development of Ukraine № 1484 (29.12.2014).
5. **DSTU GOST 28147:2009.** Information processing system. Cryptographic protection. Cryptographic transformation algorithm GOST 28147-89 (22.12.2008).
6. **Auer, S.** and Bliem, A. and Engel, D. and Uhl, A. and Unterweger, A.: Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time. In: International Journal of Digital Crime and Forensics (2013). DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.
7. **Faraoun, K. M.** A parallel block-based encryption schema for digital images using reversible cellular automata. Engineering Science and Technology, Vol. 17, pp. 85–94 (2014). DOI: 10.1016/j.jestch.2014.04.001.
8. **Minemura, K.** and Moayed, Z. and Wong, K. and Qi, X. and Tanaka, K.: JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. In: 19th IEEE International Conference on Image Processing, pp. 261–264 (2012). DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466845.
9. **Naor, M.** and Shamir, A. Visual Cryptography. In: Proceedings of the Advances in Cryptology – EUROCRYPT'94. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 950, pp. 1–12 (1995). DOI: 10.1007/bfb0053419.
10. **Phatak, A.** A Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, Vol. 8, No. 6, pp. 64–71 (2016). DOI: 10.5815/ijigsp.2016.06.08.
11. **Ramakrishnan, S.** et al. Cryptographic and Information Security Approaches for Images and Videos. CRC Press, 962 p., (2018). DOI: 10.1201/9780429435461.
12. **Rivest, R.L.** and Shamir, A. and Adleman L.M. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. Communications of the ACM, (2) 21, pp. 120–126 (1978).
13. **Баранник В. В.,** Гуржий П. Н. Кодирование массивов цветowych координат в разностном полиадическом пространстве. *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, №1, С. 44–49, (2005).
14. **Баранник В.В.,** Корольова Н.А., Поляков П.Ф. Метод комбинированного полиадического кодирования массивов длин серий. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, №5, С. 42–46, (2001).
15. **Barannik, V.** and Barannik, N. and Ryabukha, Yu. and Barannik, D. Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. In: 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 699–702 (2020). DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.
16. **Barannik, V.** and Barannik, V.: Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. In: 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 775–780 (2020). DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.
17. **Barannik V.ВV.,** Ryabukha Yu. N., Tverdokhle V. V., Barannik D. V. Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium positional encoding. In: Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 2017 2nd International Conference, pp.188–192. (2017). DOI: 10.1109 / AIACT.2017.8020096.

18. **Vladimir Barannik**, Tatyana Belikova, Pavlo Gurzhii. The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. In 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), pp. 656–661 (2019). DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030432.
19. **Vladimir Barannik**, Denys Tarasenko. Method coding efficiency segments for information technology processing video. In. 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), pp. 551–555 (2017). DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246460.
20. **Barannik, V. V.** and Ryabukha, Yu. N. and Kulitsa, O. S. The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems. Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 76, No 9, pp. 785–797 (2017). DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40.
21. **Farajallah, M.** Chaos-based crypto and joint crypto-compression systems for images and videos (2015) Available via <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01179610>.
22. **Gonzalez, R.** and Woods, R. Digital Image Processing. Published by Pearson, 1168 p. (2018).
23. **Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000.** International Standard ISO/IEC 15444-8; ITU-T Recommendation T. 807, 108 p. (2007).
24. **JPEG Privacy & Security Abstract and Executive Summary (2015)** Available via JPEG.ORG. https://jpeg.org/items/20150910_privacy_security_summary.html.
25. **Vladimir. V. Barannik;** M. P. Karpinski V.V. Tverdokhlebo; Dmitry. V. Barannik; V. V. Himenko; Marek Aleksander The technology of the video stream intensity controlling based on the bit-planes recombination. 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), 20–21 Sept. 2018, Lviv, Ukraine. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525560.
26. **Salomon, D.** Data Compression: The Complete Reference. Springer Science & Business Media, 1092 p. (2007).
27. **Chen, Ch.-Ch.** and Wu, W.-J. A secure Boolean-based multi-secret image sharing scheme. Journal of Systems and Software, Vol. 92, pp. 107–114 (2014). DOI: 10.1016/j.jss.2014.01.001.
28. **Chen, T.-H.** and Wu, Ch.-S. Efficient multi-secret image sharing based on Boolean operation. Signal Processing. Vol. 91, Iss. 1, pp. 90–97 (2011). DOI: 10.1016/j.sigpro.2010.06.012.
29. **Deshmukh, M.** and Nain, N. and Ahmed, M. An (n, n)-Multi Secret Image Sharing Scheme Using Boolean XOR and Modular Arithmetic. In.: IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp. 690–697 (2016). DOI: 10.1109/aina.2016.56.
30. **Dufaux, F.** and Ebrahimi, T. Toward a Secure JPEG. Applications of Digital Image Processing XXIX, Vol. 6312 (2006). DOI: 10.1117/12.686963.
31. **Honda, T.** and Murakami, Y. and Yanagihara, Y. and Kumaki, T. and Fujino, T. Hierarchical image-scrambling method with scramble-level controllability for privacy protection. In.: IEEE 56th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp. 1371–1374 (2013). DOI: 10.1109/MWSCAS.2013.6674911.
32. **Ji, Sh.** and Tong, X. and Zhang, M. Image encryption schemes for JPEG and GIF formats based on 3D baker with compound chaotic sequence generator (2012) Available via arXiv preprint. arXiv:1208.0999.
33. **Vladimir Barannik,** Valeriy Barannik, Dmytro Havrylov, Anton Sorokun. Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. In.: 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), pp. 54–57 (2019). DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847897.
34. **Vladimir Barannik;** Dmitry Barannik; Vadym Fustii; Maksym Parkhomenko Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), 2-6 July 2019, Lviv, Ukraine, Ukraine. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847820.
35. **Vladimir Barannik;** S. S. Shulgin. The method of increasing accessibility of the dynamic video information resource. In.: 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), pp. 621–623 (2016). DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452133.
36. **Tsai, Ch.-L.** and Chen, Ch.-J. and Hsu, W.-L. Multi-morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. In.: IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST) pp. 135–139 (2012). DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
37. **Wong, K.-W.** Image encryption using chaotic maps. Intelligent Computing Based on Chaos, Vol. 184, pp. 333–354 (2009). DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4_16.
38. **Wong, K.** and Tanaka, K. DCT based scalable scrambling method with reversible data hiding functionality. In.: 4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP), pp. 1–4. (2010). DOI: 10.1109/ISCCSP.2010.5463307.
39. **Wu, Yu,** and Aгаian, S. and Noonan, J. Sudoku Associated Two Dimensional Bijections for Image Scrambling. In.: IEEE Transactions on multimedia, 30 p. (2012). Available via arXiv preprint. arXiv:1207.5856v1.

40. **Yang, Ch.-N.** and Chen, Ch.-H. and Cai, S.-R. Enhanced Boolean-based multi secret image sharing scheme. Journal of Systems and Software, Vol. 116, pp. 22–34 (2016). DOI: 10.1016/j.jss.2015.01.031.

41. **Yang, Y.** and Zhu, B.B. and Li, S. and Yu1, N. Efficient and Syntax-Compliant JPEG 2000 Encryption Preserving Original Fine Granularity of Scalability. EURASIP Journal on Information Security, Vol. 2007, Article ID 56365, 13 p. (2008). DOI: 10.1155/2007/56365.

42. **Yuan, L.** and Korshunov, P. and Ebrahimi T. Secure JPEG Scrambling enabling Privacy in Photo Sharing. In.: 11th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition (FG) pp. 1–6 (2015). DOI: 10.1109/FG.2015.7285022.

43. **Zhou, Y.** and Panetta, K. and Aгаian, S. and Chen, C.L.P. Image encryption using P-Fibonacci transform and decomposition. Optics Communications, Vol. 285, Iss. 5, pp. 594–608 (2012). DOI: 10.1016/j.optcom.2011.11.044.

Пархоменко М. В.

МЕТОД КОДУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИХ КООРДИНАТ ФРЕЙМ-СПЛАЙНОВОГО ТЕНЗОРУ В ЗМІШАНОМУ МУЛЬТІАДИЧНОМУ ПРОСТОРИ

Проблематика досліджень стосується доставки динамічних відеоінформаційних ресурсів високої роздільної здатності з використанням мобільних інфокомунікаційних технологій, як наземного, так й аерокосмічного базування. Обґрунтовано необхідність підвищення ефективності компактного синтаксичного представлення послідовності В-Р кадрів для інформаційних технологій обробки та передачі динамічних відео ресурсів. Показано переваги підходу щодо кодування послідовності кадрів В-Р типів на основі побудови структурних сплайнів та відповідних їх фреймових структур для диференційованих блоків кадрів в трансформованому просторі. Для підвищення кількості надмірності, яку потенційно допустимо усунути запропоновано утворювати сукупності фрейм-сплайнів для динамічної послідовності ТД-блоків. В цьому випадку скорочується статистична, психовізуальна та структурна надмірність відеопослідовності на основі виявлення відповідних закономірностей, як внутрі кадрів, так й між ними. Розкриваються основні технологічні підходи відносно створення методу ефективного кодування позиційних координат одноелементних фрейм-сплайнових тензорів послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного представлення. Доводиться, що інтегрування створеного методу кодування динамічної послідовності прогнозованих відеокадрів в інформаційну технологію обробки та передачі відеоресурсу дозволяє збільшити її ефективність функціонування за такими показниками як часові затримки на доведення відеоінформації, цілісність відеоінформаційного ресурсу. Отже забезпечується підвищення якості інформаційного забезпечення функціонування систем критичної інфраструктури.

Ключові слова: динамічний відеоресурс; послідовність передбачених кадрів; змішане мультіадичне кодування; фрейм-сплайнові тензори.

Parkhomenko M.

METHOD FOR CODING POSITIONAL COORDINATES OF A FRAME-SPLINE TENSOR IN A MIXED POLIADIC SPACE

The need to improve the efficiency of the provision of video services for information support systems for the functioning of critical infrastructure facilities, including under conditions of information and cyber attacks from an opposing or competing side, is emphasized. Especially the research problem concerns the delivery of high-resolution dynamic video information resources using mobile infocommunication technologies, both ground-based and aerospace-based. The necessity of increasing the efficiency of the compact syntactic representation of the sequence of B-P frames for information technologies, process and transfer of dynamic video resources is substantiated.

The advantages of the approach with respect to coding a sequence of frames of B-P types based on the construction of structural splines and their corresponding frame structures for differentiated blocks of frames in the transformable space are shown. To increase the amount of redundancy that can be potentially eliminated, it is proposed to form a set of frame splines for a dynamic sequence of TD-blocks. In this case, the statistical, psycho-visual and structural redundancy of the video sequence is reduced on the basis of identifying the corresponding patterns, both within frames and between them. The main technological approaches to the creation of a method for efficient coding of positional coordinates of single-element frame-spline tensors of a sequence of B-P frames on the basis of a two-pole mixed poliadic representation are revealed. It is shown that the integration of the created method for encoding a dynamic sequence of predicted video frames into the information technology for processing and transmitting video resources allows to increase its functioning efficiency in terms of such indicators as time delays for bringing video information, the integrity of the video information resource.

Therefore, the quality of information support for the functioning of critical infrastructure systems is improved. that the integration of the created method for coding a dynamic sequence of predicted video frames into the information technology for processing and transmitting video resources allows to increase its efficiency in terms of such indicators as time delays for bringing video information, the integrity of the video information resource.

Therefore, the quality of information support for the functioning of critical infrastructure systems is improved. that the integration of the created method for encoding a dynamic sequence of predicted video frames into the information technology for processing and transmitting video resources makes it possible to increase its efficiency in terms of such indicators as time delays for bringing video information, the integrity of the video information resource. Therefore, the quality of information support for the functioning of critical infrastructure systems is improved

Keywords: dynamic video resource, predicted frame sequence, mixed poliadic coding, frame spline tensors.

Пархоменко М. В.

МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ПОЗИЦИОННЫХ КООРДИНАТ ФРЕЙМ-СПЛАЙНОВОГО ТЕНЗОРА В СМЕШАННОМ МУЛЬТИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Обоснованная необходимость повышения эффективности компактного синтаксического представления последовательности В-Р кадров для информационных технологий обработок и передачи динамических видео ресурсов. Показаны преимущества подхода относительно кодирования последовательности кадров В-Р типов на основе построения структурных сплайнов и соответствующих им фреймовых структур для дифференцированных блоков кадров в трансформируемом пространстве. Для повышения количества избыточности, которую потенциально допустимо устранить, предложено образовывать совокупность фреймовых сплайнов для динамической последовательности ТД-блоков. В этом случае сокращается статистическая, психовизуальная и структурная избыточность видеопоследовательности на основе выявления соответствующих закономерностей, как внутри кадров, так и между ними. Раскрываются основные технологические подходы относительно создания метода эффективного кодирования позиционных координат одноэлементных фрейм-сплайновых тензоров последовательности В-Р кадров на основе двухполюсного смешанного мультиадического представления. Показывается, что интегрирование созданного метода кодирования динамичной последовательности предсказанных видеок кадров в информационную технологию обработки и передачи видеоресурсов позволяет увеличить ее эффективность функционирования по таким показателям как временные задержки на доведение видеoinформации, целостность видеoinформационного ресурса. Следовательно, обеспечивается повышение качества информационного обеспечения функционирования систем критической инфраструктуры.

Ключевые слова: динамический видеоресурс; последовательность предсказанных кадров; смешанное мультиадическое кодирование; фрейм-сплайновые тензоры.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2020 р.

Прийнято до друку 10.12.2020 р.