

DOI: 10.18372/2310-5461.59.17949

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;

С. С. Шульгін, канд. техн. наук
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0001-5174-290X
e-mail: sssh.sergey@gmail.com;

Д. В. Бараннік,
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0003-4235-300X
e-mail: d.v.barannik@gmail.com;

Р. С. Онищенко
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0002-2332-5196
e-mail: roman1990onishenko@gmail.com;

К. В. Ревва
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0003-2385-2786
e-mail: vvbar.off@gmail.com;

МЕТОД УСІЧЕНО-ПОЗИЦІЙНОГО ДЕКОДУВАННЯ ТРАНСФОРМАНТ ЗА НЕРІВНОМІРНО-ДІАГОНАЛЬНИМ ФОРМАТОМ

Вступ

Воєнний стан в державі визначає основні вимоги та завдання, які висуваються до систем управління критичною та оборонною сферами. Постає необхідність щодо досягнення оперативної та інформаційної переваги. Для цього потрібно підвищувати ефективність функціонування кожного з етапів загального циклу управління [1]. Відповідно основні етапи циклу управління в критичній та оборонній сфері пов'язано з формуванням або ресстрацією інформаційних ресурсів, їх обробкою та передачею з посліду ючим аналізом та прийняттям рішень [2; 3].

Відповідно ефективність систем управління критичною та оборонними сферами держави в умовах воєнного часу залежить від якості відеоінформаційного забезпечення. В свою чергу останнім часом найбільш затребуваною компонентою інформаційних ресурсів є відеоінформація. Це ґрунтується наступним:

– найбільша інформативність відеоконтенту щодо об'єктів та районів моніторингу [4; 5];

– найбільша сприятливість для аналізу та прийняття рішень в автоматизованому та автоматичному режимах [6–8].

Звідси підвищується рівень критичності та актуальності відеоінформації, яка використовується для формування рішень в системах критичної та оборонної інфраструктури. Диктується множина вимог до якісних та кількісних показників відеоінформаційної взаємодії. Сюди відносяться такі [9; 10]: достовірність; повнота; цілісність; своєчасність (оперативність); конфіденційність; прихованість. Наслідком цього є значне підвищення роздільної здатності відеоінформаційного ресурсу на таких рівнях, як [11–13]: піксельному; просторово-кадровому; часовому. Такі вимоги тягнуть за собою потужне збільшення інформаційної інтенсивності відео потоків.

Водночас особливість функціонування критичної інфраструктури полягає в територіальній розподіленості її структурних компонент та центрів управління. Це зумовлює необхідність для забезпечення інформаційного обміну використовувати бездротові телекомунікаційні технології [14; 15]. На даний час існує багато стандартів та поколінь організації бездротового зв'язку [16–18]. В той же час продуктивність таких технологій є обмеженою відносно значного зросту інформаційної інтенсивності відеоінформаційних потоків [19; 20]. Слідством такого дисбалансу є виник-

нення втрат за категоріями своєчасність та цілісність інформації. Тому існує актуальна **науково-прикладна проблематика**, яка стосується усунення дисбалансу між продуктивністю телекомунікаційних технологій та рівнем інформаційної інтенсивності відео потоків, які використовуються для функціонування та інформаційного забезпечення систем прийняття рішень в критичній інфраструктурі.

Аналіз сучасних досліджень та постановка завдання

Проведення наукових досліджень в сфері означеного науково-прикладного напрямку стосується створення технологій та методів, які направлено на:

- підвищення продуктивності телекомунікаційних технологій щодо обробки та передачі даних, в тому числі з використанням бездротового сегменту мережі [21];
- створення нових форматів представлення та кодування інформаційних потоків [22];
- інтелектуалізацію процесів обробки та прийняття рішень з використанням відеоінформаційного контенту [23].

Звідси одним з напрямків усунення означеного дисбалансу є удосконалення та розробка нових методів кодування інформаційних потоків. Стосовно кодування відеоданих існує декілька базових стандартизованих платформ та відповідно потужна кількість різних версій їх реалізації та вдосконалень [24]. У випадку обробки окремих відеозображень застосовується платформа JPEG [25]. З одного боку концепція обробки, яка закладена в таку платформу, забезпечує умови для керуванням співвідношення між рівнями зменшення бітового об'єму відеоданих та їх цілісністю. З іншого боку існують певні недоліки. Такі недоліки стосуються наступного [26]:

1) має місце деструктивний вплив перевантаженого усунення психовізуальної надмірності. Такі випадки виникають тоді, коли кількість психовізуальної надмірності в сегменті відеозображення є меншою ніж її передбачена кількість. Тут передбачена кількість психовізуальної надмірності це та кількість, яка усувається в процесі кодування. Отже у разі такого дисбалансу виникають випадки втрати цілісності відеоконтенту. Навпаки, у разі усунення недостатньої кількості наявної психовізуальної надмірності виникають випадки втрати своєчасності доставки інформації [27];

2) за різними обставинами технології детектування інформативного навантаження сегментів мають обмежене застосування. Це обумовлено: недостатніми характеристиками бортових інформаційно-

обчислювальних комплексів; наявністю ризиків формування помилкових рішень [28].

Тому один з підходів для вдосконалення технологій кодування відеозображень стосується розробки нових концепцій щодо скорочення надмірності в сегментах та їх трансформованих варіантах.

Звідси **науково-прикладна задача**, яка вирішується в даній статті стосується вдосконалення технологій представлення та кодування відеозображень.

Постановка проблеми

В наукових працях [23–30] викладається новий концептуальний підхід, щодо кодування відеосегментів. Розглядається метод усічено-позиційного кодування. На основі використання даного методу для кодування трансформованих відеосегментів за нерівномірно-діагональним форматом досягається додаткове збільшення за рівнем стиснення без внесення втрат цілісності. Такий фактор створює потенціал для інтеграції означених технологічних рішень до стандартизованою платформи з обробки відеозображень [29; 30]. Відповідно забезпечуються умови для усунення дисбалансу між рівнем зменшення бітового об'єму відеокадрів та їх цілісністю.

Водночас технологія відновлення відеозображень для пропонує мого формату відсутня. Це зумовлює необхідність розробки методу декодування відеосегментів в усічено-позиційному просторі трансформанти. Звідси **мета статті** полягає у розробці методу усічено-позиційного декодування трансформант за нерівномірно-діагональним форматом.

Побудова теоретично-кодової платформи для створення процесу відновлення трансформант за нерівномірно-діагональним форматом

Теоретично-кодову платформу щодо створення процесів відновлення трансформант в пірамідальному форматі **пропонується** будувати з використанням системи F_{decod} . Така система включає сукупність зворотних перетворень для відновлення послідовності $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ за кодовою конструкцією $C'(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ описується наступним чином:

$$F_{decod} :$$

$$Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = F_{decod} (C'(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \Omega_{par}; \Omega_{pat}),$$

де Ω_{par} - сукупність допоміжної інформації, яка використовується для організації процесу прямих кодових перетворень; Ω_{pat} - сукупність залежностей між спектральними компонентами

діагональних послідовностей трансформанти, які зумовлені її структурно-комбінаторними та психовізуально-комбінаторними особливостями.

Для синтезу системи F_{decod} потрібно врахувати такі аспекти :

1. Особливість процесів прямих функціональних перетворень.

2. Наявність допоміжної інформації Ω_{par} , яка формується в процесі побудови кодових значень $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ усічено-позиційних чисел (УПЧ) $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ та кодових конструкцій $C'(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ КСОД.

До особливостей загального процесу функціональних перетворень слід віднести наступні :

1) нерівномірність кодограм синтаксичного опису компактного представлення діагоналей (КСОД) трансформанти;

2) кодограма синтаксичного опису діагонали складається двома частинами, а саме:

- базовою $C(E)_\tau^{(\ell, \xi)}$, яка містить кодове значення УПЧ, та є нерівномірною, $D_\xi = var$;

- допоміжною $C(w)_\tau^{(\ell, \xi)}$, що містить значення $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ загального спектрального діапазону діагонали. Довжина допоміжної складової є локально-рівномірною в межах окремої трансформанти, $d(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} = const$;

3) відсутність маркерних розмежувачів (роздільники) між суміжними кодограмами в середині трансформанти (відеосегменту) та між ними;

4) відсутність додаткових відомостей відносно указників щодо параметрів позиціонування кодограм КСОД в загальному бітовому потоці;

5) формування усічено-позиційних чисел на базі нерівномірних діагоналей з врахуванням особливостей їх комбінаторної конфігурації;

6) властивості усічено-позиційного базису відносно процесів визначення функціональних залежностей для кодових значень та значень позиційно-інформативної ваги відносно вагових коефіцієнтів елементів УПЧ;

7) залежність довжини та напрямку індексації компонент діагонали від її позиції в трансформанті;

8) індексацію компонент діагонали за пірамідальною системою з автоматичною прив'язкою до рівномірної двовимірної системи координат «рядок – стовпець».

Ключовою складовою системи F_{decod} є функціональне перетворення $F_{decod}^{(1)}(E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)})$. Такий функціонал утворюється перетвореннями, які мають призначення щодо відновлення діаго-

нальних послідовностей $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ за кодovими значеннями $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$. Відновлення здійснюється в усічено-позиційному просторі з врахуванням особливостей комбінаторної конфігурації нерівномірних діагоналей. Процес реконструкції $F_{decod}^{(1)}(E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)})$ в загальному випадку описується наступним чином:

$$Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = F_{decod}^{(1)}(E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \Omega_{par}),$$

$$E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \in E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)},$$

та $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \in Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$.

Тут $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ - сукупність кодових значень для ℓ -ї трансформанти в (α, β) -му макросегменті:

$$E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} = \{E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, 1)}; \dots; E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \dots;$$

$$E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, 2n-1)}\}.$$

Функціональні перетворення першого шару мають такі класифікаційні ознаки:

1) на основі мультізначної величини $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$, $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \in V'(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ потрібно отримати послідовність (діагональ) $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ мультізначних величин (спектральних компонент $y(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$, де $y(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \in \Omega(Y)$ або $y(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \in [0; 255]$):

$$Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = \{y(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}; \dots; y(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}; \dots;$$

$$y(\alpha, \beta, \tau)_{n_\xi}^{(\ell, \xi)}\}.$$

Ознака ідентифікується, як: «мультізначна – мультізначна»;

2) для кожної величини $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ ставиться до відповідності послідовність величин $y(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$. Отже реконструкція діагоналей $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ проводиться на основі **зворотних блокових кодових перетворень**. Тут маємо режим: «одне значення – послідовність значень»:

$$E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \xrightarrow{F_{decod}^{(1)}} Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} = \{Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, 1)}; \dots; Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \dots; Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, n_\xi)}\};$$

3) вхідні величини $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ за своїми значеннями в загальному випадку є нерівномірними. Реконструйована послідовність $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ є водночас нерівномірною та структурованою. Це пояснюється тим, що:

- з одного боку діагональ трансформанти є нерівномірною, $n_\xi = var$;

- з іншого боку довжина n_ξ діагоналі має детерміновану залежність від її порядкового індексу ξ в трансформанті (тобто є структурною компонентою трансформанти).

Звідси довжина n_ξ діагоналі визначається по її індексу ξ за допомогою точного математичного співвідношення :

$$n_\xi = 2n \cdot \text{sign}(1 + \text{sign}(\xi - n - 1)) - (-1)^{\text{sign}(1 + \text{sign}(n - \xi))} \cdot \xi.$$

Відповідно класифікаційна ознака за довжинами вхідних та вихідних даних формулюється, як: «рівномірна (скаляр) – структурно-нерівномірна».

Отже можна стверджувати, що побудовано платформа зворотних функціональних перетворень процесу відновлення трансформанти за діагонально-нерівномірним форматом в усічено-позиційному просторі. Сформульовані основні вимоги відносно синтезу функціональних перетворень загального процесу відновлення трансформанти.

Розробка теоретичної бази для декодування кодових значень усічено-позиційних чисел зважанням комбінаторної конфігурації трансформанти за пірамідальною текстурою

Розглянемо розробку загальної схеми декодування. Перший шар зворотних функціональних перетворень.

Синтезуємо зворотне функціональне перетворення $F_{\text{decod}}^{(1)}(E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)})$ для першого шару загального процесу відновлення діагональних послідовностей $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ трансформанти.

Реалізується зворотне перетворення між множинами $\Omega(E)$ кодових значень $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ та $\Omega(Y)$ діагональних послідовностей $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ трансформанти в усічено-позиційному просторі. Це описується наступним математичним співвідношенням:

$$\begin{aligned} Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} &= F_{\text{decod}}^{(1)}(E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}); \\ w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}; w'(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}, & \\ E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \in E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} \text{ та} & \\ Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \in Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}. & \end{aligned} \quad (1)$$

За результатами чого отримується послідовність $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ (трансформанта) УП-чисел – нерівномірних діагоналей

$$\begin{aligned} E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} &= \{E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, 1)}; \dots; \\ E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \dots; E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, n_\xi)}\} &\xrightarrow{F_{\text{decod}}^{(1)}} \\ \xrightarrow{F_{\text{decod}}^{(1)}} Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} &= \{Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, 1)}; \dots; \\ Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \dots; Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, n_\xi)}\}. & \end{aligned}$$

Для побудови функціоналу $F_{\text{decod}}^{(1)}(E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)})$ зворотного перетворення **пропонується** врахувати їх типову належність до класу адитивних базисів. Під адитивним базисом розуміються такі функціональні перетворення, які основані на визначені кількості допустимих комбінацій в умовах заданого значення старшого елемента.

В основі функціональних перетворень лежить визначення адитивних складових $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ кодових значень. Такі складові є інформативно-позиційною вагою УП базисного простору. Вони визначаються кількістю допустимих послідовностей, які передують поточній діагоналі $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$.

В виразі для обчислення кодового значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ величина $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ визначається за допомогою зважування елемента $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ в усічено-позиційному просторі. Тобто маємо:

$$\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)},$$

де $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ - значення χ -го елемента УП-числа з врахуванням умови нерівності та напрямку монотонності між сусідніми компонентами $y(\alpha, \beta, \tau)_{\chi-1}^{(\ell, \xi)}$, $y(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ діагоналі $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ $V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ - вага χ -го елемента в УП просторі.

Отже кодове значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ знаходиться за допомогою функціонала :

$$\begin{aligned} E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} &= \\ = \varphi(u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}; V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}; n_\xi). & \end{aligned} \quad (2)$$

Розглянемо з початку випадок без врахування позиціонування діагоналі в трансформанті та напрямку її обходу.

Для відновлення елементів $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ УПЧ пропонується використовувати наближену схему. Вона використовує властивість кодових значень $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ УП простору. Це стосується адитивності інформативно-позиційної ваги $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$.

Згідно чого величина $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ визначається кількістю допустимих послідовностей $\Delta_\chi \tilde{Y}(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ довжиною $(n_\xi - \chi + 1)$, які

- передують складовій $\Delta_\chi Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ поточного ξ -го УПЧ;

- мають фіксовані значення старших $(\chi - 1)$ елементів.

Звідси кодове значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ буде обмежено зверху величиною $V(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)}$:

$$E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} < V(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)}, \quad (3)$$

яка дорівнює перемноженню діапазонів $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$, $w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)}$ зміни значень компонент нерівномірної діагоналі. Отже величина $V(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)}$ дорівнює:

$$\begin{aligned} V(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)} &= \\ &= w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} \cdot (w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)})^{n_\xi - 1}. \end{aligned}$$

Тоді за умови

$$\mu_1 > u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} \quad (4)$$

нерівність (6.3) уточнюється наступним чином:

$$\begin{aligned} E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} &< \mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} \leq \\ &\leq V(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Означена властивість має два слідства:

1) з одного боку. Вага $V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ першого елемента $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ УПЧ буде верхньою межею для кодового значення $\Delta_2 E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ послідовності зі старшим елементом $u(\alpha, \beta, \tau)_2^{(\ell, \xi)}$. Тобто:

$$\begin{aligned} V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} &> \Delta_2 E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = \\ &= \sum_{\chi=2}^{n_\xi} u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}; \end{aligned} \quad (6)$$

2) з іншого боку. Кодове значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ УПЧ буде перевищувати величину $(\mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)})$

$$\mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} < E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \quad (7)$$

у разі, коли для μ_1 виконується умова:

$$\mu_1 < u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}. \quad (8)$$

Дійсно, в умовах нерівності (8) для кодового значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ маємо таке співвідношення:

$$E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \geq \mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}.$$

Знак рівняння в правій частині даного виразу буде досягатись у разі, якщо $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} = 0$.

Звідси, якщо виконується умова $\mu_1 = u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$, то кодове значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ для ξ -го УПЧ знаходиться в межах, які визначаються нерівністю:

$$\begin{aligned} \mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} &\leq E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} < \\ < (\mu_1 + 1) \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Відповідно до чого, якщо співвідношення (9) виконується, то значення першого елемента $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ дорівнює μ_1 , $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} = \mu_1$.

Для визначення значення величини μ_1 проведемо наступні математичні перетворення. Тут потрібно зважати на те, що відомими є тільки величини $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ та $V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$.

На першому кроці проведемо нормалізацію співвідношення (9). Будемо враховувати те, що наявність в лівій та правій частині даного виразу складової $V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ (вага першого елемента $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ УПЧ). Тоді нормалізація закладається у вирівнюванні нижньої межі поточного кодового значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ до нульової відмітки. Для цього ліва та права частини співвідношення (9) зменшуються на величину $(\mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)})$. Тоді маємо:

$$\begin{aligned} 0 &\leq E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} - \mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} < \\ < (\mu_1 + 1) \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} - \mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} \end{aligned}$$

або

$$0 \leq E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} - \mu_1 \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} < V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}.$$

На другому кроці виключимо величину $V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$, тобто:

$$0 \leq \frac{E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}}{V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}} - \mu_1 < 1$$

або

$$0 \leq \frac{E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}}{V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}} - 1 < \mu_1.$$

Водночас за умовами кодування елементи УПЧ можуть приймати лише позитивні значення. Звідси можливе тільки одно рішення, а саме:

$$\mu_1 = \left[E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} / V(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} \right]. \quad (10)$$

Отже у разі, коли величина μ_1 знаходиться за виразом (10) виконується співвідношення (9). Відповідно значення першого елемента $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ УПЧ дорівнює $u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} = \mu_1$.

За аналогією визначення довільного χ -го елемента ξ -го УПЧ здійснюється за умови виконання співвідношення :

$$\begin{aligned} \mu_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} &\leq \Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} < \\ < (\mu_\chi + 1) \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Тут $\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ - поточне кодове значення складової УПЧ, де старшим елементом є $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$.

Співвідношення (11) забезпечується наступними умовами:

1) якщо величина $\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ визначається за формулою

$$\begin{aligned} \Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} &= \\ &= \sum_{\gamma=\chi}^{n_\xi} u(\alpha, \beta, \tau)_\gamma^{(\ell, \xi)} \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\gamma^{(\ell, \xi)}, \end{aligned} \quad (12)$$

тобто є кодовим значенням складової УПЧ зі старшим елементом $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$, то виконується властивість позиційного базису :

$$\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} < V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}; \quad (13)$$

2) якщо існує така величина μ_χ , для значення якої виконується нерівність:

$$\mu_\chi < u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}, \quad (14)$$

а поточне кодове значення $\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ УПЧ обчислюється за виразом (12), то воно буде перевищувати величину $(\mu_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)})$:

$$\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} > \mu_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}. \quad (15)$$

Дійсно, у разі коли величина $\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ знаходиться за формулою (12), то в умовах (14) маємо:

$$\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \geq \mu_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}.$$

Знак рівняння в правій частині даного виразу буде досягатись у разі, якщо $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} = 0$.

Після чого шляхом нормалізації співвідношення (11) та виключення ваги $V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ маємо:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} - \mu_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} < \\ < (\mu_\chi + 1) \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} - \mu_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \end{aligned}$$

або

$$0 \leq \frac{\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}}{V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}} - 1 < \mu_\chi.$$

Звідси значення величини μ_χ визначається виразом:

$$\mu_\chi = \left[\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} / V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \right]. \quad (16)$$

Відповідно для значенням χ -го елемента ξ -го УПЧ маємо:

$$u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} = \mu_\chi. \quad (17)$$

Вирази (16) та (17) створюють необхідні умови для відновлення значень елементів УПЧ з використанням наближених вирішальних правил, які задаються співвідношенням (11). При цьому використовуються властивості позиційного базису стосовно адитивності інформативно-позиційної ваги та її залежності від зважання відповідних елементів УПЧ.

Висновки

1. Побудована система вирішального правила для визначення адитивної інформативно-позиційної ваги, яка включає значення поточного старшого елемента УПЧ. В основі даного правила лежать:

- математичне співвідношення для наближеного оцінювання кодового значення УПЧ відносно його адитивних складових за старшим елементом;

- властивості позиційного базису, які дозволяють наближено встановити нижню та верхню межі зміни кодового значення в УП просторі.

2. Створюється вирішальне правило для вилучення поточного старшого елемента УПЧ з відповідного інформативно-позиційного базису. В основі правила лежить синтезована функціональна залежність значення поточного старшого елемента УПЧ від його ваги та поточного кодового значення. Синтез стосується нормалізації співвідношення для наближеного оцінювання поточного кодового значення та послідуочого виключення ваги поточного старшого елемента УПЧ. *Це формує необхідну умову для відновлення елементів усічено-позиційного числа.*

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Одарченко Р., Іванова М., Рябенко М., Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн М. Метод аналізу взаємодії параметрів QOE та QOS на основі алгоритмів керування машинами. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 305–316. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17130>.
- [2] Козловський В., Савченко А., Толстікова О., Клобукова Л. Критерії вибору спектрально-ефективних сигналів у бездротових інформаційних мережах. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 286–273. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17125>.
- [3] Odarchenko R., Gnatyuk V., Gnatyuk S., Abakumova A. Security key indicators assessment for modern cellular networks. *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC): proceedings of the IEEE First International Conference*, 2018. P 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516889>.
- [4] Бараннік В. В., Бабенко Ю. М., Бараннік В. В., Колесник В. О. Метод кодування значимих за впливом на семантичну цілісність відеосегментів для забезпечення доступності. *Наукоємні технології*. 2022. № 2 (54). С. 118–126. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16749>.
- [5] Huang, S.-Y. XOR-Based Meaningful (n, n) Visual Multi-Secrets Sharing Schemes [Text] / S.-Y. Huang, A.-h. Lo, J.S.-T. Juan // *Applied Sciences*, MDPI. 2022. Vol. 12, iss. 20. Id. 10368. P. 1–22. DOI: 10.3390/app122010368.
- [6] Latif, A. A Novel Image Encryption Scheme Based on Reversible Cellular Automata [Text] / A. Latif, Z. Mehrnahad. *Journal of Electronic & Information Systems*. 2019. Vol. 1, iss. 1. P. 18–25. DOI: 10.30564/jeisr.v1i1.1078.
- [7] Survey on image encryption techniques using chaotic maps in spatial, transform and spatio-temporal domains [Text] / U. Zia, M. McCartney, B. Scotney et al. *International Journal of Information Security*. 2022. Vol. 21. P. 917–935. DOI: 10.1007/s10207-022-00588-5.
- [8] Content and Privacy Protection in JPEG Images by Reversible Visual Transformation [Text] / X. Cao, Y. Huang, H.-T. Wu, Y.-m. Cheung. *Applied Sciences*, MDPI. 2020. Vol. 10, iss. 19. Id. 6776. P. 1–12. DOI: 10.3390/app10196776.
- [9] Belikova T. and 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)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 106–110, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024206.
- [10] Бараннік В., Шульгін С., Ігнат'єв О., Онищенко Р., Бабенко Ю., Бараннік В. Концепція функціональних перетворень для формування синтаксичного опису діагоналей трансформанти. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. 2023. Вип. 3, № 1, С. 24–34.
- [11] Valerii Barannik, "Technology of Structural-Binomial Coding to Increase the Efficiency of the Functioning of Computer Systems," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 96–100, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024205.
- [12] Chen T.-H., Wu Ch.-S. Efficient multi-secret image sharing based on Boolean operation. *Signal Processing*. 2011. Vol. 91, Iss. 1. P. 90–97. DOI: 10.1016/j.sigpro.2010.06.012.
- [13] R. Onyshchenko, D. Barannik, A. Krasnorutsky, and V. Barannik, "The Methods of Intellectual Processing of Video Frames in Coding Systems in Progress Aeromonitor to Increase Efficiency and Semantic Integrity," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 53–56, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [14] Бараннік В., Шульгін С., Бараннік Д., Онищенко Р. Динамічне кодування трансформанти відеозображень з уточненням системи основ. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. 2022. Вип. 2, № 2, С. 22–32.
- [15] A. Berchanov, A. Krasnorutsky, V. Kolesnyk, V. Barannik, N. Kharchenko and O. Malko, "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.
- [16] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Онищенко Р. С., Ревва К. В., Ігнат'єв О. О. Метод формування інформативно-позиційної ваги для усичено-позиційної кодової системи представлення трансформованих відеосегментів. *Наукоємні технології*. 2023. №2. С. 34–45.
- [17] Hsu W.-L., Tsai Ch.-L., Chen Ch.-J., Multi-morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. *Carnahan Conference on Security Technology (CCST): proceedings of the IEEE International Conference*. 2012. P. 135–139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
- [18] R. Onyshchenko, O. Slobodyanyuk, A. Krasnorutsky, V. Bezruk, V. Kolesnyk and S. Podlesny, "Approach to Coding with Improved Integrity of Video Information for Transmission in Wireless Infocommunication Networks," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 38–42, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024245.
- [19] Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000 [Text].

- International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T.807, 2007. 108 p.
- [20] Qi X., Minemura K., Moayed Z., Wong K., Tanaka K. JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. *Image Processing: proceedings of the 19th IEEE International Conference*, 2012. P. 261–264. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2012.6466845>.
- [21] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Онищенко Р. С., Ігнат'єв О. О. Методологія кодування трансформованих відеосегментів в усічено-позиційному просторі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки*. 2023. Том 34 (73). № 1. С. 38–42.
- [22] Barannik V., Khimenko V., Barannik N., Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. №. 4. P. 119–131. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
- [23] Шульгін С. Технологія кодування трансформованих відеосегментів в нерівноваговому діагонально-позиційному просторі. *Наукоємні технології*. 2022. № 2(54), С. 147–154.
- [24] Шульгін С. Метод динамічного кодування сегментів відео потоку шляхом з'ясування структурних змін у нерівноваговому діагонально-позиційному просторі. *Наукоємні технології*, 2022, № 3(55), С. 238–243.
- [25] V. Barannik, S. Shulgin, D. Barannik and Y. Sidchenko, "Quadrature Compression Technology in Two-Level Polyadic Space for Infocommunication Systems," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 84–87, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024217.
- [26] V. Barannik, N. Barannik S. Shulgin, and V. Barannik, "Method of Coding Subbands of Non-Homogeneous Spectrum of Video Segments in Uneven Diagonal Space," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 72–75, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024236.
- [27] 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.
- [28] S. Shulgin, N. Barannik, V. Barannik, "Dynamic Coding Method of Video Segments Stream by Specifying Structural Changes," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 76–79, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024179.
- [29] Шульгін С. С., Бараннік В. В., Онищенко Р., Ушань В., Ігнат'єв О. Модель інформативного опису спектрального простору відеосегментів діагонально нерівномірною текстурою. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 259–267. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17124>.
- [30] Vladimir Barannik, Sergii Shulgin, Roman Onyshchenko, Valerii Kozlovskiy, Tatyana Belikova, Oleksandr Ihnatiev, Viacheslav Khlopiachyi Method of recurrent truncated-positional coding video segments in uneven diagonal space. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2023. no 2(102). pp. 129–142. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2023.2.11>.

**Бараннік В. В., Шульгін С. С., Бараннік Д.В., Онищенко Р. С., Ревва К. В.
МЕТОД УСІЧЕНО-ПОЗИЦІЙНОГО ДЕКОДУВАННЯ ТРАНСФОРМАНТ ЗА
НЕРІВНОМІРНО-ДІАГОНАЛЬНИМ ФОРМАТОМ**

В статті показується те, що підвищується рівень критичності та актуальності відеоінформації, яка використовується для формування рішень в системах критичної та оборонної інфраструктури. Диктується множина вимог до якісних та кількісних показників відеоінформаційної взаємодії. Сюди відносяться такі: достовірність; повнота; цілісність; своєчасність (оперативність); конфіденційність; прихованість. Водночас існує необхідність для забезпечення інформаційного обміну використовувати бездротові телекомунікаційні технології. В той же час продуктивність таких технологій є обмеженою відносно значного зросту інформаційної інтенсивності відеоінформаційних потоків. Тому існує актуальна науково-прикладна проблематика, яка стосується усунення дисбалансу між продуктивністю телекомунікаційних технологій та рівнем інформаційної інтенсивності відео потоків. Стверджується те, що напрямком усунення означеного дисбалансу є удосконалення та розробка нових методів кодування інформаційних потоків. Тут один з підходів для вдосконалення технологій кодування відеозображень стосується розробки нових концепцій щодо скорочення надмірності в сегментах та їх трансформованих варіантах. Розглядається метод усічено-позиційного кодування. На основі використання даного методу для кодування трансформованих відеосегментів за нерівномірно-діагональним форматом досягається додаткове збільшення за рівнем

стиснення без внесення втрат цілісності. Такий фактор створює потенціал для інтеграції означених технологічних рішень до стандартизованої платформи з обробки відеозображень. Відповідно забезпечуються умови для усунення дисбалансу між рівнем зменшення бітового об'єму відеокadrів та їх цілісністю. Звідси необхідно розробити метод усічено-позиційного декодування трансформант за нерівномірно-діагональним форматом. Побудована система вирішального правила для визначення адитивної інформативно-позиційної ваги, яка включає значення поточного старшого елемента числа. В основі даного правила лежать: математичне співвідношення для наближеного оцінювання кодового значення числа відносно його адитивних складових за старшим елементом; властивості позиційного базису, які дозволяють наближено встановити нижню та верхню межі зміни кодового значення.

Ключові слова: відеоконтент, критична інфраструктура, усічено-позиційне декодування, трансформанта, відновлення відеозображень.

Barannik V., Shulgin S., Barannik D., Onyshchenko R., Revva K.
**TRUNCATED-POSITIONAL DECODING METHOD OF TRANSFORMANT
BY NON-UNIFORMLY DIAGONAL FORMAT**

The article shows that the level of criticality and relevance of video information, which is used to form decisions in critical and defense infrastructure systems, is increasing. A set of requirements for qualitative and quantitative indicators of video information interaction is dictated. These include the following: reliability; Fullness; integrity; timeliness (efficiency); confidentiality; Stealth. At the same time, there is a need to use wireless telecommunication technologies to ensure information exchange. At the same time, the productivity of such technologies is limited by a significant increase in the information intensity of video information flows. Therefore, there is an urgent scientific and applied problem that concerns the elimination of the imbalance between the productivity of telecommunication technologies and the level of information intensity of video streams. It is argued that the direction of elimination of this imbalance is the improvement and development of new methods of encoding information flows. Here, one of the approaches to improve video encoding technologies concerns the development of new concepts to reduce redundancy in segments and their transformed variants. The method of truncated-positional coding is considered. Based on the use of this method for encoding transformed video segments in an unevenly diagonal format, an additional increase in the compression level is achieved without introducing loss of integrity. This factor creates the potential for the integration of these technological solutions into a standardized video processing platform. Accordingly, conditions are provided to eliminate the imbalance between the level of reduction in the bit volume of video frames and their integrity. Hence, it is necessary to develop a method of truncated-positional decoding of transformants in an unevenly-diagonal format. A system of the decisive rule for determining the additive informative-positional weight, which includes the value of the current major element of the number, has been built. This rule is based on: a mathematical relationship for an approximate estimate of the code value of a number relative to its additive components by the highest element; positional basis properties that allow you to approximate the lower and upper limits of the code value change.

Keywords: Video Content, Critical Infrastructure, Truncated Positional Decoding, Transformant, Video Image Recovery.

Стаття надійшла до редакції 19.08.2023 р.

Прийнято до друку 11.10.2023 р.