

УДК 621.327:681.5

Технологія ковзного кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти

Бараннік В. В.¹, Шулєгін С. С.², Бабенко Ю. М.⁴, Онищенко Р. С.³, Ревва К. В.²,
Белікова Т. В.², Ігнат'єв О. О.²

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

²Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

³Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, м. Харків, Україна

⁴Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

E-mail: v.v.barannik@karazin.ua

Обґрунтовані вимоги до якісних характеристик дистанційної форми відеовзаємодії. До них відносяться такі: повнота та цілісність відеоінформації; своєчасність доставки відеоінформації, що визначається часом затримки доставки інформації. Сюди входять часові витрати на обробку та передачу інфокомунікаційними мережами. На основі всебічного аналізу показано, що в процесі забезпечення вказаних вимог виникає суперечність. Вона зумовлена, з одного боку, потребою у збільшенні рівня пропускної здатності інфокомунікаційних мереж. Цьому спонукає потужне зростання інформаційної інтенсивності відеопотоку та складність його обробки, аналізу. Навпаки, з іншого боку, для дистанційної форми інформаційної взаємодії притаманне використання бездротових інфокомунікаційних технологій на базі мобільних платформ аерокосмічного та наземного базування. Означені технології мають недостатні можливості щодо швидкісних характеристик по передаванню інформації. Звідси підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням мобільного сегменту інфокомунікаційної мережі в кризових умовах є актуальною **науково-прикладною проблемою**. Показано, що локалізація дисбалансу між темпами зростання інформаційного навантаження на інфокомунікаційні мережі та їх пропускної здатності досягається використанням стандартизованих технологій кодування та форматування відеоданих. В той же час стандартизовані технології мають вразливості. Це стосується залежності рівня зменшення бітової інтенсивності від кількості психовізуальної надмірності, яка скорочується в процесі кодування. Ґрунтовно доводиться, що усунення означеної вразливості досягається шляхом вдосконалювання стандартизованих платформ. Для цього пропонується розробляти методи кодування, які дозволяють зменшити бітовий об'єм відеокадрів без втрати їх цілісності. Отже **мета досліджень статті** полягає у розробці технології зменшення бітової інтенсивності динамічного потоку відеокадрів на основі кодування їх сегментів в двовимірному спектральному просторі. Відповідно до чого обґрунтовується концепція щодо інтерпретації трансформанти на основі встановлення наявності комбінаторної конфігурації, яка зумовлена її структурно-топологічними та психовізуальними особливостями. Показано потенційні переваги врахування комбінаторної конфігурації трансформанти на основі її переформатування за нерівномірно-діагональною структурою. Розроблено технологію ковзного усічено-позиційного кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти. Застосування створеної технології в процесі кодування трансформованих відеосегментів для послідовності відеокадрів дозволяє зменшити їх бітовий об'єм в середньому на 15–30%.

Ключові слова: динамічна послідовність відеокадрів; повнота та цілісність відеоінформації; часова затримка доставки інформації; зменшення бітового об'єму; кодування трансформант; діагоналі; усічено-позиційні числа

DOI: [10.20535/RADAR.2023.94.13-23](https://doi.org/10.20535/RADAR.2023.94.13-23)

Вступ. Постановка проблеми

Практичний досвід вказує на те, що в умовах кризових ситуацій, включно техногенні катастрофи, стихійні лиха, пандемії та інші надзвичайні станови-

ща, виникає множина проблемних факторів. Одним з таких є значний попит на дистанційні форми інформаційної взаємодії. В першу чергу це стосується обміну відеоінформацією. Сюди відносяться [1]:

- аерокосмічний моніторинг місцевості та/або об'єктів критичної інфраструктури;
- дистанційний відеоконтроль об'єктів;
- відеоконференційний зв'язок;
- інтелектуальний інформаційний пошук об'єктів в інформаційному просторі;
- інтелектуальні робототехнічні системи, що пов'язані з ідентифікацією та розпізнаванням об'єктів.

Особливістю дистанційної форми взаємодії є існування потреби у отриманні актуальної та достовірної інформації. Це формує вимоги до якісних характеристик. До них відносяться такі [2, 3]:

1) повнота та цілісність відеоінформації. Під повнотою тут розуміється забезпечення потрібної роздрібною здатності відеопотоку. Така властивість визначається розмірами відеознімків та їх кількістю на часовому відрізку. Під цілісністю мається на увазі рівень відповідності відновлених відеокадрів на приймальній стороні відносно початкових відеокадрів. Рівень відповідності може розглядатись на синтаксичному або на семантичному описі відеокадрів;

2) своєчасність доставки відеоінформації, що визначається часом затримки доставки інформації, включно з її обробкою та передачею інфокомунікаційними мережами.

Звідси слідує такі особливості реалізації сучасних відеосервісів [2, 4, 5]:

- з одного боку виникає потужне зростання інформаційної інтенсивності відеопотоку та збільшується складність його обробки й аналізу;

- з іншого боку збільшуються вимоги щодо потрібного рівня пропускної здатності інфокомунікаційних мереж.

Водночас для дистанційної форми інформаційної взаємодії притаманне використання бездротових інфокомунікаційних технологій на базі мобільних платформ аерокосмічного та наземного базування. Означені технології мають недостатні можливості щодо швидкісних характеристик по передаванню інформації [6–8]. При цьому кризовий стан супроводжується деструктивними діями (кібератаки, виведення з ладу об'єктів енергетичної та телекомунікаційної інфраструктури) з боку протидіючої сторони. Це призводить до додаткового обмеження ефективності функціонування інфокомунікаційних систем [9, 10].

Наслідком чого є виникнення суперечності між вимогами до якісних характеристик дистанційної відеовзаємодії. З одного боку це потреби у забезпеченні вимог до повноти відеопотоку та його цілісності [11, 12]. З іншого боку — своєчасності доставки відеопотоку [13].

Тому підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням мобільного сегмента інфокомунікаційної мережі в кризових умовах є актуальною **науково-прикладною проблемою**.

Локалізація дисбалансу між темпами зростання інформаційного навантаження на інфокомунікаційні мережі та їхньої пропускної здатності досягається використанням стандартизованих технологій кодування та форматування відеоданих [14–18]. До таких технологій відносяться платформи H264 та H265 [15, 18]. Основною компонентою тут є технологічна лінія щодо кодування динамічного потоку відеокадрів. Залучається концепція, яка має такі особливості:

- локалізація послідовності відеокадрів в межах окремих груп [19, 20];

- класифікація відеокадрів в групах за їхнім впливом на вирішення дисбалансу між цілісністю та рівнем бітового об'єму [21, 22];

- скорочення надмірності послідовно за двома напрямками, а саме: усередині відеокадрів та між ними [23, 24];

- усунення психовізуальної надмірності на різних технологічних етапах обробки послідовності відеокадрів, включно з: переформатуванням моделі їхнього кольорового опису; переформатуванням складу макросегментів; прорідженням відеосегментів; квантуванням спектрального простору відеосегментів; описом векторів руху об'єктів між відеокадрами; прорідженням відеосегментів в послідовності відеокадрів; формуванням передбачених відеосегментів за одним або за двома сусідніми відеокадрами [25, 26]. При цьому кількість психовізуальної надмірності усувається згідно з обраною стратегією локалізації дисбалансу «цілісність – бітовий об'єм». Тут враховується визначений клас кожного відеокадру в групі [27].

В той же час стандартизовані технології мають вразливості. Це стосується залежності рівня зменшення бітової інтенсивності від кількості психовізуальної надмірності, яка скорочується в процесі кодування [28, 29]. Наслідком є те, що у разі збільшення розмірів відеокадрів або зменшення пропускної здатності інфокомунікаційної мережі виникає потреба у додатковому виключенні кількості психовізуальної надмірності. Це неминуче призведе до втрати цілісності відеоінформації [29].

Усунення означеної вразливості досягається шляхом вдосконалювання стандартизованих платформ. Для цього пропонується розробляти методи кодування, які дозволяють зменшити бітовий об'єм відеокадрів без втрати їхньої цілісності. Одним з таких напрямків вдосконалення є створення нових методів кодування відеосегментів з усуненням кількості структурної надмірності усередині відеокадрів [29, 30]. При цьому потрібно встановлювати та усувати кількість надмірності за новими типами закономірностей відеосегментів. Найбільш перспективним тут є напрямок розгляду особливостей представлення відеосегментів в двовимірному спектральному просторі [30].

Отже **мета досліджень статті** полягає у розробці технології зменшення бітової інтенсивності динамічного потоку відеокадрів на основі кодування їхніх сегментів в двовимірному спектральному просторі.

1 Обґрунтування концепції для представлення трансформованих відеосегментів з врахуванням комбінаторної конфігурації

Трансформанта $Y''(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ є описом початкового відеосегмента $X(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ в частотно-спектральному вигляді. Найчастіше для трансформування відеосегмента в спектральний простір використовується дискретне косинусне перетворення (ДКП) φ_{dct} [31, 32]. Перетворення має такий математичний запис:

$$\varphi_{dct} : X(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} \rightarrow Y''(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}.$$

В цій формулі використовуються позначення відеосегмента та трансформанти з одночасним врахуванням їхніх позицій в (α, β) -му макросегменті та у групі кадрів, а саме:

$X(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ – ℓ -й сегмент в (α, β) -му макросегменті або сегмент на ℓ -й позиції у (α, β) -му макросегменті відеозображення з індексом τ в міжкадровій послідовності (у відеотензорі);

$Y''(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ – ℓ -а трансформанта в (α, β) -му макросегменті на τ -й позиції у відеотензорі.

В результаті формується двовимірний масив $Y''(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ вагових коефіцієнтів $y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ базисних функцій ДКП. В подальшому такий масив визначається, як трансформанта. Трансформанта $Y''(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ складається з компонент $y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$, які належать до множини \mathbf{R} дійсних чисел, тобто : $y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \in \mathbf{R}$. Це зумовлено тим, що базис перетворення будується косинусними функціями. Область визначення таких функцій належить до множини \mathbf{R} дійсних чисел [33]. В подальшому компоненти $y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ трансформанти $Y''(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ переформатуються з множини дійсних чисел до множини \mathbf{Z} цілих чисел. Використовується такий математичний функціонал: $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} = [y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}]$, де $[y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}]$ – округлення дійсного числа $y''(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ до цілого значення; $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ – $(i; j)$ -а компонента, яка належить до множини \mathbf{Z} цілих чисел, тобто $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \in \mathbf{Z}$.

Компоненти $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ можуть приймати від'ємні та позитивні значення. Це потребує використання додаткового біту на знак числа.

Тому впроваджується механізм відокремлення абсолютного значення числа $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ від його знаку $z(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$. Переформатування компонент $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ з множини цілих чисел до натуральної множини \mathbf{N} організується за допомогою знакового функціоналу $sign$. Відповідно для кожної компоненти $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ формується дві величини, а саме $y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \rightarrow \{y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}; z(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}\}$:

1) компонента $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$, яка належить до множини \mathbf{N} натуральних чисел, тобто $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \in \mathbf{N}$. Тут $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} = |y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}|$;

2) маркер знаку $z(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$. Визначення величини $z(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ проводиться за формулою:

$$z(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} = sign(y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}) = \begin{cases} 0, & \rightarrow y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \geq 0; \\ 1, & \rightarrow y'(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} < 0. \end{cases}$$

За результатами чого, утворюється трансформанта $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ та масив $Z(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ маркерів знаків, тобто $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} \rightarrow \{Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}; Z(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}\}$.

Для наведеного формату з'являється можливість для окремої інтерпретації та обробки трансформанти $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ з натуральними значеннями компонент та відповідної їй матриці $Z(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ маркерів.

Розглянемо базові концепції щодо інтерпретації трансформанти. Спектральні компоненти $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ в залежності від їхньої позиції в трансформанті несуть інтегровану інформацію відносно низько-, середньо- та високочастотних особливостей початкового відеосегмента.

Отже існує **властивість неоднорідності** розподілу спектральних компонент в залежності від інтегрованого інформативного опису структурно-яскравісних особливостей відеосегмента. Неоднорідність спектрального простору за інтегрованим внеском в структурно-семантичний та яскравісний опис відеосегмента визначається як **якісна характеристика (властивість) трансформанти**.

Звідси можна стверджувати, що компоненти трансформанти мають різний вплив на збереження структурно-семантичної цілісності та візуального оцінювання початкового відеосегмента. Отже якісну властивість трансформанти можна також інтерпретувати як наявність **різновпливовості** спектральних компонент щодо збереження синтаксичної та семантичної цілісності відеосегмента.

В подальшому такий розподіл створює можливість для оцінювання структурно-семантичних та структурно-яскравісних (ССЯ) особливостей відеосегмента. Для цього використовується аналіз діапазонів значень спектральних компонент в різних ділянках трансформанти.

Чим вище діапазон значень спектральних компонент означеної ділянки трансформанти, тим більш виразними є відповідні ССЯ особливості у відеосегменті [30, 34]. Відповідно рівень цілісності спектральних компонент означеної ділянки трансформанти впливає на рівень збереження достовірності відповідних ССЯ характеристик відеосегмента. Спотворення значень високочастотних компонент призводять до зниження роздільної здатності відеосегмента або до втрати дрібних об'єктів. Спотворення значень низькочастотних компонент трансформанти призводять до втрати загальної цілісності відеосегмента або до повної руйнації його структурно-семантичного змісту [30].

Найчастіше у відеосегменті за сумарними розмірами переважають області когерентності. Звідси діапазон значень спектральних компонент в області низьких частот трансформанти буде значно перевищувати діапазон в області високих спектральних частот. З цього слідує те, що трансформанта в загальному випадку має нерівномірний спектральний діапазон. Тому існує властивість нерівномірності розподілу діапазону спектральних значень в залежності від ділянок трансформанти. Така властивість визначає **кількісну характеристику** спектрального простору трансформанти.

З врахуванням якісних та кількісних властивостей спектрального простору трансформанти можна виділити такі підходи до оцінювання їх інформативності.

1. Перший підхід базується на врахуванні психовізуальних особливостей щодо сприйняття змін у ССЯ змісту відеосегмента [30, 33]. Високочастотні компоненти мають менший інформативний вплив на загальне візуальне оцінювання відеосегмента. Створюється можливість для внесення корекцій в синтаксичний опис високочастотних компонент. Означені корекції зводяться до зміни значень відповідних компонент $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ трансформанти $Y(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell)}$ в **деякому діапазоні** (діапазон допустимої корекції (ДДК) $\delta(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ значень спектральних компонент). Тобто:

$$\begin{aligned} & \text{sign} \left(1 + \text{sign}(y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} - \delta(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}) \right) \times \\ & \quad \times \left(y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} - \delta(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \right) \leq \\ & \leq \hat{y}(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \leq y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} + \delta(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}. \end{aligned}$$

Їх реалізація здійснюється в процесі квантування початкового діапазону спектрального простору трансформанти. Тут важливо забезпечити вимогу стосовно того, що б діапазон квантування не перевищував діапазон допустимої корекції значень спектральних компонент з врахуванням їхнього інформативного впливу на візуальне оцінювання відеосегмента.

На базі даного підходу досягається скорочення психовізуальної надмірності відеосегмента.

2. Нерівномірність діапазонів зміни значень спектральних компонент створює умови для [28, 34]:

- нерівномірності появи компонент в різних ділянках трансформанти. Компоненти, які мають більші значення, з більшою ймовірністю можуть з'явитися в області низьких частот трансформанти. Навпаки, компоненти, що мають менші значення, з більшою ймовірністю з'являються в області високих частот трансформанти;

- нерівномірності закону розподілу ймовірності появи значень компонент трансформанти. Компоненти, які мають менші значення, можуть з'являтися в трансформанті частіше.

Чим менший діапазон зміни значень спектральних компонент, тим частіше поява компонент з однокковими значеннями. Та, навпаки. Звідси високочастотні компоненти будуть мати більшу ймовірність появи в трансформанті ніж низькочастотні компоненти. Отже загальний закон розподілу ймовірностей появи компонент в трансформанті буде наближатися до нерівномірного. Маємо ознаки наявності в трансформанті статистичної надмірності. При цьому для квантованого спектрального простору такі ознаки будуть більш виразними.

3. Квантування спектрального діапазону зменшує значення компонент трансформанти. Звідси виникають випадки, коли значення спектральних компонент буде дорівнювати нулю. Такі компоненти можуть утворювати серії. Тут під серією розуміється безперервна послідовність компонент, які мають нульові значення. Наявність таких серій формує структурний опис трансформанти. Адже серія є простішою структурною складовою топології трансформанти. Відповідно до чого, створюється умова для опису таких серій значенням їх довжини. При цьому формуються значущі спектральні компоненти, значення яких перевищує нульовий рівень. В подальшому такий рівень визначається як субполоси (субсмуги) спектрального діапазону. Тому трансформанта має структурну надмірність.

Водночас довжина означених серій є нерівномірною для різних ділянок трансформанти. Найбільша довжина серій досягається для області високих частот трансформанти. Отже існує умовна залежність ймовірності появи компонент трансформанти від довжини серії, яка їй передує. Врахування таких умовних залежностей створює можливість для усунення структурно-статистичної надмірності трансформанти.

4. Проведемо узагальнення вищенаведених підходів стосовно встановлення обмежень на конфігурацію компонент в трансформанті. Такі обмеження зумовлені особливостями формування трансформант для відеосегментів з використанням дискретного косинусного перетворення. Вони стосуються того, що:

– топологія розташування базисних функцій ДКП-перетворення має певновизначений порядок розміщення (кількість гармонік для послідовності функцій косинусу збільшується в напрямку зверху – до низу);

– кількість інформації, яку містять компоненти трансформанти в різних її ділянках, про ССЯ зміст початкового відеосегмента є нерівномірною. Тобто позначається топологія, яка має диференційний характер;

– спектральні компоненти в різних ділянках трансформанти мають нерівноваговий вплив на збереження цілісності відеосегмента (нерівновагове інформативне навантаження, яке розподіляється за компонентами в різних ділянках трансформанти).

Звідси стосовно структурно-топологічного характеру трансформанти можна заключити таке:

– окреслюється неоднорідність діапазону зміни значень спектральних компонент в різних ділянках трансформанти. А саме, ділянки низьких та високих частот трансформанти;

– виступає топологічна тенденція зменшення спектральних діапазонів за зігзагоподібним напрямком;

– проявляється наявність таких структурних ознак, як серії компонент з нульовими значеннями.

Тому стверджується такий аспект. Розташування компонент за їх інформативною вагою та вибір їх значень в трансформанті здійснюється за певними правилами та має певні топологічні та структурні особливості. Отже накладаються обмеження щодо можливих вибірок відносно формування змісту трансформанти. Таким чином, для трансформанти ДКП утворюється комбінаторна конфігурація. А саму трансформанту можна в загальному випадку розглядати як комбінаторний об'єкт.

Означений підхід щодо інтерпретації трансформанти створює умови для скорочення структурно-комбінаторної та психовізуально-комбінаторної надмірностей. Такі визначення обумовлені походженням комбінаторної трактовки трансформанти.

Рівень інформативності трансформанти з позиції структурно-комбінаторного та психовізуально-комбінаторного підходів визначається кількістю допустимих комбінаторних конфігурацій, які можна побудувати з її компонент.

Означені обмеження на можливі зміни значень спектральних компонент $w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ в різних ділянках трансформанти визначаються шляхом знаходження відповідних діапазонів $w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$.

Для існуючих технологій кодування встановлення таких діапазонів $w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ проводиться на основі обробки рядків та стовпців трансформанти [35]. В цьому випадку величини $w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ знахо-

дяться за допомогою таких виразів:

$$\begin{aligned} w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} &= w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} \times \\ &\times \text{sign}(1 - \text{sign}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} - w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)})) + \\ &+ w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} \times \\ &\times \text{sign}(1 + \text{sign}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} - w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} - 1)). \end{aligned} \quad (1)$$

Для спрощення даного виразу введемо функцію $\text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)})$ (comparison – порівняння). Функція $\text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)})$ визначається таким чином:

$$\begin{aligned} \text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}) &= \\ &= \text{sign}(1 - \text{sign}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} - w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)})) = \\ &= \begin{cases} 0, & \rightarrow w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} > w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}; \\ 1, & \rightarrow w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} \leq w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}. \end{cases} \end{aligned}$$

Відповідно функціонал $\text{sign}(1 + \text{sign}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} - w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} - 1))$ буде описуватись, як $(1 - \text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} + 1))$, тобто:

$$\begin{aligned} 1 - \text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} + 1) &= \\ &= \text{sign}(1 + \text{sign}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} - w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} - 1)) = \\ &= \begin{cases} 0, & \rightarrow w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} \leq w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}; \\ 1, & \rightarrow w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} > w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}. \end{cases} \end{aligned}$$

Тоді маємо:

$$\begin{aligned} w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} &= \\ &= w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} \text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}) + \\ &+ w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} \times \\ &\times (1 - \text{comp}(w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}; w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)} + 1)). \end{aligned}$$

Отже величина $w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$ дорівнює мінімальному значенню серед двох діапазонів $w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}$, $w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}$ зміни значень спектральних компонент за i -м рядком та j -м стовпцем. Це обумовлено тим, що в загальному випадку діапазон зміни спектральних компонент в напрямку рядків та стовпців є нерівномірним. Отже для величин $w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)}$, $w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}$ може виконуватись нерівність: $w(\alpha, \beta, \tau)_i^{(\ell)} \neq w(\alpha, \beta, \tau)_j^{(\ell)}$.

Врахування комбінаторної конфігурації трансформанти, що обумовлено її структурними та психовізуальними особливостями, шляхом встановлення спектральних діапазонів досягається на основі використання такої категорії, як перестановка із повтореннями з обмеженнями на діапазони зміни значень її елементів. Перестановка з повтореннями має наступні ознаки:

– з одного боку враховує як позиції, так й самі значення компонент в трансформанті;

– з іншого боку кількість допустимих перестановок з повтореннями залежить від діапазонів значень, які приймають її компоненти.

Врахування позицій компонент в трансформанті є необхідним, оскільки вони визначають область низьких та високих частот спектрального простору. Врахування обмежень на діапазон зміни значень компонент потрібно для обліку нерівномірності спектрального діапазону в різних ділянках трансформанти.

Звідси для трансформанти $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$, значення компонент $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}$, якої знаходиться в діапазоні $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \in [0; w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}]$, кількість інформації $D(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ визначається за формулою [29, 35]:

$$D(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} = \log_2 V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \log_2 w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}, \quad (2)$$

де $V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ кількість допустимих комбінацій, яку можна скласти для трансформанти в умовах обмежень $y(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)} \in [0; w(\alpha, \beta, \tau)_{i,j}^{(\ell)}]$ на значення їх компонент [35]; n – лінійний розмір трансформанти.

В той же час врахування комбінаторних обмежень трансформанти на основі технології встановлення спектральних діапазонів за напрямками рядків та стовпців має певні недоліки, які полягають в тому що:

1. Існує вплив спектральних діапазонів низькочастотної області трансформанти на діапазони компонент в області її високих частот. У зв'язку з чим діапазони високочастотних компонент трансформанти, які знаходяться за формулою (1), будуть надмірними відносно їх реальних спектральних діапазонів. Це призводить до зменшення кількості комбінаторної надмірності, яку потенційно можна скоротити на основі врахування структурних та психовізуальних особливостей трансформанти.

2. Для врахування комбінаторних конфігурацій трансформанти на основі встановлення спектральних діапазонів одночасно за її рядками та стовпцями потрібно залучення додаткової інформації. Додаткова інформація включає значення спектральних діапазонів по всім рядкам та стовпцям трансформанти. Відповідно кількість додаткової інформації для $n = 8$ становить 25% від загальної кількості компонент в трансформанті, $n \times n = 64$. Це обмежує можливості щодо скорочення бітового об'єму трансформанти шляхом скорочення комбінаторної надмірності, зумовленою її структурними та психовізуальними особливостями.

Зменшення кількості додаткової інформації в процесі опису комбінаторних конфігурацій досягається шляхом визначення спектральних діапазонів за одним з напрямків, а саме: за рядками або за стовпцями. В той же час визначення спектрального

діапазону або за рядками, або за стовпцями одночасно враховує неоднорідні значення компонент в області низьких та високих частот трансформанти. Отже такий підхід призведе до зменшення адекватності моделі інформативного опису трансформанти, та як наслідок цього — до наявності залишкової комбінаторної надмірності.

3. Не враховується така топологічна ознака трансформанти, як наявність тенденції зменшення спектральних діапазонів за зігзагоподібним напрямком.

4. Не враховується така структурна ознака трансформанти, як наявність серій компонент з нульовими значеннями. Адже такі серії переважної більшості розташовані в межах діагоналей трансформанти.

Отже технологія виявлення спектральних діапазонів за рядками та стовпцями не в повній мірі враховує комбінаторну конфігурацію трансформанти.

В зворотному випадку, врахування діагональної структурованості комбінаторної конфігурації трансформанти дозволить:

1) зменшити інтервали спектральних діапазонів двовимірного простору трансформанти за діагональним напрямком. Це дозволяє локалізувати властивості спектрального формату відеосегментів та забезпечити додаткове скорочення кількості надмірності;

2) врахувати ситуації наявності в діагональних послідовностях серій нульових компонент. Це відповідає випадку наявності додаткових обмежень щодо встановлення більшої кількості надмірності в трансформантах. Отже врахування таких обмежень створює можливість для додаткового збільшення рівня стиснення відеосегментів;

3) встановити випадки наявності для діагональних послідовностей властивостей субмонотонності. Такі додаткові обмеження зумовлені особливостями топології трансформанти $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$. Відповідно вони характерні для різних частотних областей її двовимірного спектрального простору. При цьому під субмонотонною послідовністю розуміється така локальна послідовність, для компонент якої виконується умова монотонності. Тобто умова монотонності досягається для локальних ділянок, які утворюються компонентами трансформанти у разі їх діагонального розгортання. Такі ділянки монотонності більш характерні та мають більшу довжину для низькочастотної області трансформанти.

4) додатково встановити тип обмежень, який стосується наявності умови монотонності для суміжних компонент діагональних послідовностей трансформанти $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$. При цьому напрямок такої монотонності залежить від етапу діагонального обходу трансформанти. Тут виникає така властивість діагоналей, яка утворюється нерівністю значень її компонент $y(\alpha; \beta; \tau)_{\chi-1}^{(\ell, \xi)}$ та $y(\alpha; \beta; \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$, що

розташовані на суміжних позиціях $(\chi - 1)$, χ . Водночас це не залежить від напрямку монотонності, тобто або маємо спадаючу послідовність, або навпаки, зростаючу. Відповідна означена особливість описується таким співвідношенням:

$$\forall y(\alpha; \beta; \tau)_{\chi}^{(\ell, \xi)} \in Y(\alpha; \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)} : y(\alpha; \beta; \tau)_{\chi-1}^{(\ell, \xi)} \neq y(\alpha; \beta; \tau)_{\chi}^{(\ell, \xi)}, \quad (3)$$

де $y(\alpha; \beta; \tau)_{\chi}^{(\ell, \xi)}$ – спектральна компонента на χ -й позиції у діагоналі з індексом ξ для ℓ -ї трансформанти $Y(\alpha; \beta)_{\tau}^{(\ell)}$ відеосегмента.

В подальшому компоненти діагоналі, для яких виконується умова (3), будемо визначати як **спектральні субсмуги (субполоси)**.

Звідси можна стверджувати те, що для нерівномірно-діагонального формату трансформанти виникає потенційна спроможність відносно усунення додаткової кількості структурно-комбінаторної надмірності. При цьому кількість такої надмірності не впливає на втрату синтаксичної та семантичної цілісності відеосегмента.

Це зумовлено тим, що комбінаторна конфігурація трансформанти має більш адекватний опис у разі обліку її структурно-топологічних особливостей за діагональною текстурою. Тобто структурно-топологічні особливості спектрального простору трансформанти мають переважно **діагональну текстуру**.

2 Розробка технології ковзного кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти

Розглянемо процес створення технології кодування нерівномірно-діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти. Відповідно це створює реалізацію першого шару загальних функціональних перетворень. Отже маємо такі початкові дані.

1. В формалізованому вигляді перетворення $F_{encod}^{(1)}(Y(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)})$ має вигляд:

$$E(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)} = F_{encod}^{(1)} \left(Y(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)}; w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}; w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)}; n_{\xi}; \Omega_{pat} \right),$$

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

2. Структура кодоформувача для величини $E(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)}$ задається з врахуванням усичено-позиційного формату.

Отже маємо такі співвідношення:

$$E(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)} = \sum_{\chi=1}^{n_{\xi}} \Delta_{\chi} V(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)};$$

$$\Delta_{\chi} V(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)} = \begin{cases} \left(y_{\xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi+\alpha \cdot comp(\xi; n)} - truncat(y_{\xi-\chi+2-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi-1+\alpha \cdot comp(\xi; n)}; y_{\xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi+\alpha \cdot comp(\xi; n)}) \right) \times \\ \times \left(w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)} \right)^{2n \cdot sign(1+sign(\alpha-1)) - (-1)^{sign(1+sign(-\alpha))} \cdot \xi - \chi}, \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 1; \\ \left(y_{\chi+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n)} - truncat(y_{\chi-1+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+2-\alpha \cdot comp(\xi; n)}; y_{\chi+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n)}) \right) \times \\ \times \left(w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)} \right)^{2n \cdot sign(1+sign(\alpha-1)) - (-1)^{sign(1+sign(-\alpha))} \cdot \xi - \chi}, \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 0. \end{cases}$$

Тут використовуються такі позначення:

– функціонал визначення напрямку монотонності для значень двох суміжних компонент діагоналі трансформанти:

$$truncat \left(y(\alpha, \beta, \tau)_{\chi-1}^{(\ell, \xi)}; y(\alpha, \beta, \tau)_{\chi}^{(\ell, \xi)} \right) = \begin{cases} \left(sign(1 + sign(y_{\xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi+\alpha \cdot comp(\xi; n)} - y_{\xi-\chi+2-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi-1+\alpha \cdot comp(\xi; n)})) \right), \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 1; \\ \left(sign(1 + sign(y_{\chi+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n)} - y_{\chi-1+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+2-\alpha \cdot comp(\xi; n)})) \right), \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 0; \end{cases}$$

– функціонал $comp(\xi; n)$ містить функцію $sign(\alpha - 1)$, та задається таким чином:

$$\begin{aligned} comp(\xi; n) &= sign(1 + sign(\alpha - 1)) = \\ &= \begin{cases} 0, & \rightarrow \xi \leq n; \\ 1, & \rightarrow \xi > n + 1; \end{cases} \\ &\alpha = \xi - n. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} &= \sum_{\chi=1}^{n_\xi} \Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = \sum_{\chi=1}^{n_\xi} (y_{\xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi+\alpha \cdot comp(\xi; n)} - \\ &- truncat(y_{\xi-\chi+2-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi-1+\alpha \cdot comp(\xi; n)}; y_{\xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n), \chi+\alpha \cdot comp(\xi; n)})) \times \\ &\times \left(w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)} \right)^{2n \cdot sign(1+sign(\alpha-1)) - (-1^{sign(1+sign(\alpha-1))}) \cdot \xi - \chi}; \quad (4) \end{aligned}$$

2) у разі парного значення індексу ξ поточної діагоналі в трансформанті, тобто $\xi - \lfloor \xi/2 \rfloor \cdot 2 = 0$:

$$\begin{aligned} E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} &= \sum_{\chi=1}^{n_\xi} \Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = \sum_{\chi=1}^{n_\xi} (y_{\chi+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n)} - \\ &- truncat(y_{\chi-1+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+2-\alpha \cdot comp(\xi; n)}; y_{\chi+\alpha \cdot comp(\xi; n), \xi-\chi+1-\alpha \cdot comp(\xi; n)})) \times \\ &\times \left(w'(\alpha, \beta, \tau)^{(\ell, \xi)} \right)^{2n \cdot sign(1+sign(\alpha-1)) - (-1^{sign(1+sign(\alpha-1))}) \cdot \xi - \chi}. \quad (5) \end{aligned}$$

Даний вираз дозволяє визначити величину $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ в незалежності від позиціонування поточної діагоналі в двовимірній трансформанті. Завершення процесу визначення кодового значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ досягається за результатами обробки останньої n_ξ -ї компоненти ξ -ї діагоналі. Довжина n_ξ діагоналі $Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ обчислюється за формулою:

$$\begin{aligned} n_\xi &= 2n \cdot sign(1 + sign(\xi - n - 1)) - \\ &- \left(-1^{sign(1+sign(n-\xi))} \right) \cdot \xi, \end{aligned}$$

де n – лінійний розмір трансформанти.

Зуваження. Відносно визначення функціоналу $truncat(\bullet)$ на етапі обробки першого елементу $y(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ усічено-позиційного числа (УПЧ). Існує невизначеність щодо значення нульового (віртуального) елементу $y(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)}$. Тут потрібно врахувати те, що для першого елементу УПЧ не накладаються додаткові обмеження відносно діапазону $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ його значень. Для виключення такої невизначеності пропонується значення елементу $y(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)}$ встановлювати на рівні спектрального діапазону $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ першого елементу УПЧ, тобто $y(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)} = w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$. В цьому випадку завжди буде забезпечуватись умова $y(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} < y(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)} = w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$. А отже, значення функціоналу

За узагальненням формуємо наступний вираз для знаходження величини $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ для довільного позиціонування діагоналі відносно головної в залежності від напрямку її обходу в трансформанті:

1) у разі непарного значення індексу ξ поточної діагоналі в трансформанті, тобто $\xi - \lfloor \xi/2 \rfloor \cdot 2 = 1$:

$truncat \left(y(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}; y(\alpha, \beta, \tau)_0^{(\ell, \xi)} \right)$ в цьому випадку буде завжди дорівнювати 0. Дійсно, оскільки за умовами усічено-позиційного кодування виконується нерівність $y(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} \leq w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)} - 1$.

Співвідношення (4), (5) дозволяють визначити кодове значення $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ для довільного позиціонування діагоналі або її компонент в двовимірному просторі трансформанти.

Отже величина $E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ формується для діагональної послідовності з одночасним врахуванням прив'язки координат її компонент (пірамідального формату) до двовимірного простору (рядковостовпцевий формат). При цьому реалізується функціональне перетворення $F_{encod}^{(1)} \left(Y(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \right)$ загального процесу формування компактного за бітовим описом синтаксичного представлення. На цьому етапі досягається скорочення кількості надмірності, яка зумовлена комбінаторними конфігураціями нерівномірно-діагонального опису трансформанти.

3 Порівняльне оцінювання методів кодування відеосегментів в спектральному просторі для динамічної послідовності відеокадрів

Розглянемо порівняльне оцінювання рівня η бітового об'єму кодованого відеосегмента. Досліджуються два варіанти кодування трансформант, а саме з використанням створеної (РТ) та існуючих технологій (ІМ) [19, 20].

Експериментальне оцінювання здійснюється для відеосегментів трьох базових типів у складі відеокадрів, що мають різний рівень насиченості дрібними деталями та структурними об'єктами. Тип відеосегмента визначається рівнем його інформативності за структурно-семантичним змістом та структурно-яскравісними характеристиками. Ідентифікація відеосегментів за означеними якісними та кількісними ознаками розглядається у праці [36]. Далі будемо використовувати три типи відеосегментів, а саме: низькоінформативні, середньоінформативні та високоінформативні. Параметри квантування спектрального діапазону трансформанти відповідають рівню пікового відношення сигнал/шум (ПВСШ), який становить 25 та 45 дБ. Результати експериментального оцінювання представлено у вигляді діаграм на Рис. 1.

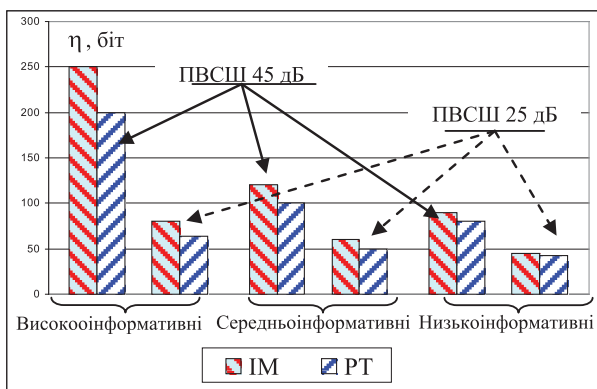


Рис. 1. Діаграми залежності величин η від рівня інформативності відеосегментів та значення ПВСШ

За результатами аналізу наведених діаграм можна заключити таке. Рівень бітового об'єму для створеної технології кодування трансформант відносно існуючих зменшується:

1) в залежності від ПВСШ: для режиму забезпечення 45 дБ в середньому на 30%; для режиму забезпечення 25 дБ в середньому на 17%;

2) в залежності від рівня інформативності відеосегментів: найбільше зниження бітового об'єму досягається для високоінформативних (на 30%) та середньоінформативних (на 27%) відеосегментів в режимі забезпечення ПВСШ на рівні 45 дБ.

Отже можна стверджувати таке. Для створеного методу кодування трансформованих відеосегментів забезпечується додаткове скорочення кількості надмірності. Така надмірність не призводить до втрат цілісності відеосегментів та зумовлена врахуванням комбінаторної топології трансформанти. Її кількість залежить від рівня семантичної та структурної складності відеосегментів, та за умов врахування психовізуальних особливостей може додатково сягати 30%.

Висновки

1. Обґрунтована концепція відносно інтерпретації трансформанти на основі встановлення наявності комбінаторної конфігурації, яка зумовлена її структурно-топологічними та психовізуальними особливостями.

2. Обґрунтовані потенційні переваги врахування комбінаторної конфігурації трансформанти на основі її переформатування за нерівномірно-діагональною структурою. Це зумовлено тим, що комбінаторна конфігурація трансформанти має більш адекватний опис у разі обліку її структурно-топологічних особливостей за діагональною текстурою.

3. Розроблено метод ковзного усічено-позиційного кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти. Це створює реалізацію першого шару загальних функціональних перетворень щодо побудови компактного за бітовим описом синтаксичного формату відеосегмента без втрати їх цілісності (достовірності). Метод базується на:

3.1. Технології знаходження вагових коефіцієнтів елементів УПЧ. Тут в основі лежить процес визначення допустимої кількості послідовностей, які задовольняють таким умовам:

- передують поточній нерівномірно-діагональній послідовності;

- задовольняють обмеженням на діапазони зміни значень спектральних компонент;

- для двокомпонентних складових виконується умова нерівності їх значень.

3.2. Використанні функціоналу щодо визначення співвідношення між сусідніми елементами УПЧ. Тут в основі лежить процес усунення кількості заборонених послідовностей, які виявляються на основі додаткового врахування співвідношення щодо напрямку монотонності між значеннями поточного та попереднього елементів усічено-позиційного числа.

Наукова новизна.

Вперше створено метод кодування діагональних послідовностей трансформанти на основі формування усічено-позиційного простору. Відмінності методу полягають у використанні створеної технології формування інформативно-позиційної ваги (нерівномірних складових кодового значення УПЧ)

для діагональної послідовності з одночасним врахуванням прив'язки координат її компонент (пірамідального формату) до двовимірного простору (рядково-стовпцевий формат) в усічено-позиційній кодовій системі. Це забезпечує умови для виключення втрат інформації та скорочення кількості надмірності, яка зумовлена комбінаторними конфігураціями нерівномірно-діагонального опису трансформанти.

4. Для створеного методу кодування трансформованих відеосегментів забезпечується додаткове скорочення кількості надмірності. Така надмірність не призводить до втрат цілісності відеосегментів та зумовлена врахуванням комбінаторної топології трансформанти. Її кількість залежить від рівня семантичної та структурної складності відеосегментів, та за умов врахування психовізуальних особливостей може додатково сягати 30%.

References

- [1] Dick K., Russell L., Dosso Y., Kwamena F., Green J. (2019). Deep Learning for Critical Infrastructure Resilience. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 25, Iss. 2, 11 p. DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000477.
- [2] Li, F., Krivenko, S., Lukin, V. (2020). Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT. *Radioelectronic and computer systems*, No. 2(94), pp. 22-32. DOI: 10.32620/reks.2020.2.02.
- [3] Ji, Sh., Tong, X., Zhang, M. (2012). Image encryption schemes for JPEG and GIF formats based on 3D baker with compound chaotic sequence generator. *Cornell University arXiv*. doi: 10.48550/arXiv.1208.0999.
- [4] Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES). Federal Information Processing Standards Publication 197 (2001). *Defense Technical Information Center*.
- [5] Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8; ITU-T Recommendation T.807. (2007). 108 p.
- [6] School of Electronic Engineering and Computer Science. ECS605U/ECS776P – Image Processing. <http://www.eecs.qmul.ac.uk/phao/IP/Images/>.
- [7] Belikova N., Lekakh A., Dovbenko O., Dodukh O. (2019). Method of Increasing the Capacity of Information Threat Detection Filters in Modern Information and Communication Systems. *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, pp 426-429. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847754.
- [8] Miano J. (1999). *Compressed image file formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 264 p.
- [9] Joint Photographic Experts Group (JPEG). Information technology – digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines. ISO/IEC 10918-1:1994, ITU/CCITT Recommendation T.81. (1992–2017). 182 p.
- [10] Wong, K., Tanaka, K. (2010). DCT based scalable scrambling method with reversible data hiding functionality. *4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ISCCSP.2010.5463307.
- [11] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022. (2019). *Cisco*. 33 p.
- [12] Cisco Annual Internet Report (2018–2023). (2020). *Cisco*. 35 p.
- [13] Komolov, D., Zhurbynskyy, D., Kulitsa, O. (2015). Selective Method For Hiding Of Video Information Resource In Telecommunication Systems Based On Encryption Of Energy-Significant Blocks Of Reference I-Frame. *1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2015)*, pp. 80-83.
- [14] Wong, K.-W. (2009). Image Encryption Using Chaotic Maps. In: Kocarev, L., Galias, Z., Lian, S. (eds) *Intelligent Computing Based on Chaos. Studies in Computational Intelligence*, Vol. 184. *Springer*. doi: 10.1007/978-3-540-95972-4_16.
- [15] Rippel O. and Bourdev L. (2017). Real-Time Adaptive Image Compression. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*, Vol. 70, pages 2922-2930.
- [16] Yang Y., Zhu B., Li S., Yu N. (2007). Efficient and Syntax-Compliant JPEG 2000 Encryption Preserving Original Fine Granularity of Scalability. *EURASIP Journal on Information Security*, Vol. 2007, Iss. 1, 13 p. DOI:10.1186/1687-417X-2007-056365.
- [17] Ieremeiev, O., Lukin, V., Okarma, K. (2020). Combined visual quality metric of remote sensing images based on neural network. *Radioelectronic and computer systems*, No. 4, pp. 4-15. DOI: 10.32620/reks.2020.4.01.
- [18] Latif, A., Mehrnahad Z. (2019). A Novel Image Encryption Scheme Based on Reversible Cellular Automata. *Journal of Electronic & Information Systems*, Vol. 1, Iss. 1, pp. 18-25. DOI: 10.30564/jeisr.v1i1.1078.
- [19] Barannik V. (2022). 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, pp. 96-100, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024205.
- [20] Tverdokhlib V., Zakomorna K., Dvukhglavov D., Oleksin O., Zhuikov D., Kryvonos V. (2021). Technology Increasing Capacity Protected Channel Delivery Video Data Telecommunication Systems Critical Infrastructure. *IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, pp. 57-60. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678736.
- [21] Barannik V., Hahanova A., Slobodyanyuk A. (2009). Architectural presentation of isotopic levels of relief of images. *2009 IEEE 10th International Conference on Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): proceedings*, Lviv, Ukraine, pp. 385–387.
- [22] Issa, O.; Shanableh, T. (2023). Static Video Summarization Using Video Coding Features with Frame-Level Temporal Subsampling and Deep Learning. *Applied Sciences*, Vol. 13, Iss. 10, 6065. doi: 10.3390/app13106065.
- [23] Gonzalez R., Woods R. (2018). *Digital Image Processing*. Pearson, 1168 p.
- [24] Salomon D. (2007). *Data Compression: The Complete Reference*. Springer, 1092 p.

- [25] Gore A, Gupta S. (2015). Full reference image quality metrics for JPEG compressed images. *AEU – International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 69, Iss. 2, pp. 604–608. DOI: 10.1016/j.aeue.2014.09.002.
- [26] Cogranne R. (2018). Determining JPEG Image Standard Quality Factor from the Quantization Tables, 6 p. *Cornell University*.
- [27] Li, Y.; Zhu, H.; He, L.; Wang, D.; Shi, J.; Wang, J. (2023). Video Super-Resolution with Regional Focus for Recurrent Network. *Applied Sciences*, Vol. 13, Iss.1, 526. doi: 10.3390/app13010526.
- [28] Auer S., Bliem A., Engel D., et al. (2013). Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time. *International Journal of Digital Crime and Forensics*, Vol. 5, No. 3. DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.
- [29] Minemura K., Moayed Z., Wong K., et al. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. *2012 19th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 261–264. DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466845.
- [30] Barannik D. and Barannik V. (2022). Steganographic Coding Technology for Hiding Information in Infocommunication Systems of Critical Infrastructure. *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, pp. 88–91, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.
- [31] Issa, O.; Shanableh, T. (2023). Video-Based Recognition of Human Activity Using Novel Feature Extraction Techniques. *Applied Sciences*, Vol. 13, Iss. 11, 6856. doi: 10.3390/app13116856.
- [32] Barannik V., Barannik N., Ignatyev O., Khimenko V. (2021). Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 4, pp. 119–131. doi: 10.32620/reks.2021.4.
- [33] Barannik V., Shulgin S., Barannik N., and Barannik V. (2022). 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)*, pp. 72–75, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024236.
- [34] Bidwe, R. V.; Mishra, S.; Patil, S.; et al. (2022). Deep Learning Approaches for Video Compression: A Bibliometric Analysis. *Big Data Cogn. Comput.*, Vol. 6, Iss. 2, 44. doi: 10.3390/bdcc6020044.
- [35] Brand, F.; Seiler, J.; Kaup, A. (2021). Intra-frame coding using a conditional autoencoder. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, Vol. 15, Iss. 2, pp. 354–365. doi: 10.1109/JSTSP.2020.3034768.
- [36] Shulgin S., Barannik V., Barannik N. (2022). Dynamic Coding Method of Video Segments Stream by Specifying Structural Changes. *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, pp. 76–79, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024179.

Technology of Sliding Coding of Uneven Diagonal Sequences in Two-Dimensional Spectral Space of Transformants

Barannik V. V., Shulgin S. S., Babenko Yu. M., Onyshchenko R. S., Revva K. V., Belikova T. V., Ignatyev O. O.

The requirements for the qualitative characteristics of the remote form of video interaction are substantiated. These include the following: completeness and integrity of video information; timeliness of video information delivery, which is determined by the time of delay in information delivery. This includes the time spent on processing and transmission via information and communication networks. Based on a comprehensive analysis, it is shown that there is a contradiction in the process of meeting these requirements. On the one hand, it is driven by the need to increase the capacity of information and communication networks. This is driven by the rapid growth of the information intensity of the video stream and the complexity of its processing and analysis. On the other hand, the remote form of information interaction is characterized by the use of wireless information and communication technologies based on mobile aerospace and ground-based platforms. These technologies have insufficient capabilities in terms of speed characteristics of information transmission. Hence, improving the quality of video information services using the mobile segment of an information and communication network in crisis conditions is an urgent **scientific and applied problem**. It is shown that the localization of the imbalance between the growth rate of information load on infocommunication networks and their bandwidth is achieved by using standardized technologies for encoding and formatting video data. At the same time, standardized technologies have vulnerabilities. This concerns the dependence of the level of bit rate reduction on the amount of psycho-visual redundancy that is reduced during the coding process. It is thoroughly proved that the elimination of this vulnerability is achieved by improving standardized platforms. For this reason, it is **proposed** to develop coding methods that reduce the bit volume of video frames without losing their integrity. Therefore, **the purpose of the research** is to develop a method for reducing the bit intensity of the dynamic video stream based on the coding of their segments in two-dimensional spectral space. Accordingly, the article substantiates the concept of interpreting a transform based on establishing the presence of a combinatorial configuration, which is determined by its structural, topological and psychovisual features. The potential advantages of taking into account the combinatorial configuration of a transform based on its reformatting according to the uneven diagonal structure are shown. The development of a technology for sliding truncated positional coding of uneven diagonal sequences in the two-dimensional spectral space of a transform is presented. The application of the created technology in the process of encoding transformed video segments for a sequence of video frames allows to reduce their bit volume by an average of 15-30%. This takes into account the dependence on the class of video frame in the local group and the level of structural and semantic information content of video segments.

Keywords: dynamic sequence of video frames; completeness and integrity of video information; time delay of information delivery; bit size reduction; transformant coding; diagonals; truncated positional numbers