

DOI: 10.18372/2310-5461.68.19047

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;

К. В. Ревва

Харківський національний університет радіоелектроніки

orcid.org/0000-0003-2385-2786

e-mail: vvbar.off@gmail.com;

МЕТОД ДЕКОДУВАННЯ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ ЗА ДІАГОНАЛЬНО-ЛОКАЦІЙНИМ ФОРМАТОМ

Вступ

Динамічний розвиток технологій формування та споживання візуальної інформації супроводжується постійним зростанням вимог щодо її якості [1]. Підвищення роздільної здатності, частоти кадрів, глибини кольору, у поєднанні зі збільшенням кількості користувачів, призводить до стрімкого зростання обсягів візуальних даних [2]. При цьому передача відеоданих з зростаючою бітовою інтенсивністю організується на основі інфокомунікаційних мереж безпроводового сегменту [3; 4]. Характерною ознакою таких типів мережних технологій є їх обмежена продуктивність за швидкістю передачі даних. Це формує дисбаланс в процесі забезпечення достатньої якості відеоконтенту [5; 6]. Зумовленість дисбалансу спричиняє недостатній рівень швидкості передачі даних в мережах відносно бітової інтенсивності відеоданих згідно сучасних вимог замовників. Зрозумілим є наявність складнощів в процесі забезпечення вимог зацікавлених сторін у використанні відеосервісів [7; 8]. Більшої критичності встановлений дисбаланс набирає під час забезпечення надання відеоінформації в умовах кризисного стану та воєнного часу.

Локалізація недостатнього рівня швидкості передачі даних можлива шляхом застосування технологій обмеження бітової інтенсивності відеопотоку. Застосовуються технології стиснення, реалізовані у стандартах H.264/AVC, H.265/HEVC, AV1, VP9, JPEG, WebP, JPEG XL та Jpegli [9; 10]. Основний добуток щодо стиснення для цих технологій ґрунтуються на усуненні кількості психовізуальної надмірності [11; 12]. Врахування психовізуальної надмірності реалізується під час: макро-форматування відеозображень; перетворення відеозображення у спектральний простір; квантування спектральних коефіцієнтів [13; 14].

Однак такі перетворення мають ознаки втратної природи [15; 16]. Це є причиною появи характерних компресійних артефактів, що спричиняє порушення структурного та семантичного змісту та характеру зв'язків складових відеозображень.

Зокрема до них можна віднести такі [17; 18]:

– blocking виникає через втрату кореляції між блоками трансформації та проявляється у вигляді видимої сітки 8×8 або 16×16.

– ringing є наслідком усічення високочастотних компонент і проявляється хвилеподібними ореолами поблизу контрастних контурів.

– blurring спричинений пригніченням середньо- та високочастотних складових, що призводить до втрати дрібної текстури та різкості.

Сукупний вплив цих ефектів знижує семантичну цілісність та візуальну достовірність відновлених відеозображень [19; 20].

Таким чином, постає **науково-прикладна проблема**, пов'язана з необхідністю розробки методів стиснення з наявністю механізмів відновлення відеоданих з потрібним рівнем семантичної цілісності.

Аналіз сучасних досліджень та постановка завдання

В угоду вдосконалення технологій стиснення в напрямку забезпечення потрібного рівня стиснення за умов збереження компресійних властивостей можна окреслити два підходи [21; 22]:

1. В основі першого підходу лежать методи підвищення якості відновлених відеоданих після та в процесі реконструкції стиснутих відеозображень на приймальній стороні [23; 24].

2. Другий підхід базується на розробці процесів стиснення з локалізацією впливу психовізуальної складової на досягнення рівня стиснення відеоданих [25; 26].

Розглянемо підходи щодо підвищення рівня семантичної цілісності шляхом вдосконалення методів відновлення візуальної інформації після стиснення [27; 28]. У форматах нерухомих зображень (JPEG, WebP, JPEG XL, Jpegli) типові методи працюють у межах окремих блоків, та здебільшого усувають blocking шляхом локального усереднення градієнтів [29; 30]. Однак такі алгоритми не враховують закономірностей формування психовізуальної надмірності та спектральної структури після квантування. У результаті міжблокова сегментація лише маскується, а blurring посилюється через додаткове пригнічення високочастотних компонент. Для артефактів типу ringing застосовуються методи згладжування контурних областей. Проте вони обмежені у своїй ефективності, оскільки не працюють із закономірностями спектрального розподілу втрачених частот. Це призводить до того, що ореоли лише частково приглушуються.

У відеокодеках (H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9, AV1) фільтри типу deblocking, SAO, CDEF знижують інтенсивність blocking і ringing, але при цьому часто поглиблюють blurring, оскільки оперують локальними згладжувальними [31]. Крім того, вони не враховують просторово-часових кореляцій, порушених міжкадровою компресією. Це спричиняє накопичення артефактів у динамічних сценах.

Загалом, існуючі методи відновлення недостатньо враховують [27; 28]:

- механізми формування психовізуальної надмірності у відповідних стандартах;
- закономірності квантування у спектральному просторі;
- вплив міжблокової та міжкадрової декореляції;
- роль структурно-спектрального балансу у формуванні локальної текстурної структури.

Це зберігає дисбаланс між просторовим та спектральним поданням і обмежує ефективність зменшення артефактів.

Отже означені підходи здатні лише частково компенсувати компресійні артефакти та покращувати локальну текстурну структуру без істотного збільшення обчислювальної складності. Водночас локалізації одних типів артефактів може призвести до посилення інших на цілісність відновлених відеозображень.

Постановка проблеми

В наукових працях [23–30] викладається новий концептуальний підхід, щодо кодування. За проведеним аналізом можна стверджувати, що забезпечення заданого рівня семантичної цілісності відеоданих з потрібним рівнем стис-

нення можливе шляхом реалізації комплексного підходу. Сюди відносяться не лише методи підвищення якості відновлених відеозображень, але ж й методи локалізації частки психовізуальної надмірності у результуючому рівні стиснення. Звідси необхідно розвивати другий підхід.

Серед реалізацій підходу щодо зменшення впливу кількості надмірності психовізуального типу на рівень стиснення є метод кодування в форматі діагонально-спектральної локації [28; 30]. В основі методу лежить збільшення кількості надмірності, яка усувається в процесі врахування додаткових структурних особливостей в спектральному просторі за локаційно-діагональним форматом. Це одночасне має вплив на зменшення проявів артефактів blocking, ringing і blurring; відновлення структурної та спектральної узгодженості зображення; підвищення семантичної достовірності реконструйованих даних при сумісності з поширеними форматами стиснення.

Водночас процеси відновлення для таких кодових структур мають недостатню технологічну базу. Існує тільки обмежений варіант відновлення відеоданих, який представлено в роботі [31; 33]. Недоліком є збільшення часових витрат на декодування та відсутність можливості реалізації процесу розподіленої обробки.

Тому *мета статті* полягає у розробці методу відновлення даних у локаційно-діагональному форматі трансформованих сегментів відеозображень.

Розробка методу відновлення відеоданих на основі локаційно-діагонального декодування трансформант

В основі процесу відновлення даних для локаційно-діагонального формату лежить функціонал F_{decod} . Для цього використовується значення коду, яке отримується за кодограмою $Cod(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$. В загальному описі це має такий вигляд: F_{decod} :

$$D(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = F_{decod}(Cod(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}; \Omega_{par}).$$

Сюди додаткового обліковується інформація Ω_{par} щодо опису параметрів локаційно-діагонального формату та усічено-позиційного базису [32; 33]. Мається на увазі супутні відомості процесу формування значень $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ локаційних кодів перехідних компонент $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ елементів діагоналей $D(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ трансформанти $D(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ в усічено-позиційному (УП) базисі.

В основі побудови функціоналу F_{decod} покладається можливість розбиття складних функцій за набором більш простіших. Такий принцип

запропоновано в концепції створення інтелектуальних систем Колмогорова-Арнольда (KAN). Отже складовою функціоналу F_{decod} є функціональне перетворення $F_{\text{decod}}^{(1)}(L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)})$. В загалі потрібно побудувати функціональне відображення F_{decod} в системі

$$L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \xrightarrow{F_{\text{decod}}^{(1)}(L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)})} U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)} \quad (1)$$

за умов:

- наявності інформації щодо значення $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ величини УП базису для елементів $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ перехідного числа $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ діагоналі $D(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$. Тут величина $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$ представляє собою спектральний діапазон елементів поточної діагоналі;
- формування нерівномірних чисел $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell)}$ в локаційно-діагональному форматі з врахуванням структурних та комбінаторних особливостей;
- врахування властивості УП базису відносно наявності залежностей між значеннями локацій-

них кодів та позиційно-інформативної ваги в процесі визначення вагових коефіцієнтів;

– обліку особливостей локаційно-діагонального формату щодо рівнів локації: діагоналі до трансформанти сегменту з врахуванням залежності її довжини від позиції в трансформанті відносно головної діагоналі; елементів у діагоналі з врахуванням напрямку індексації компонент діагоналі та їх довжин.

При цьому величина $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ позиціонується, як код перехідного числа $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ для ξ -ї діагоналі ℓ -ї трансформанти в (α, β) -му макро-сегменті відеозображення. Тут характерними ознаками відображення (1) є наступні. Перетворення (1) реалізується в умовах (в режимі), коли одній нерівно-багатозначній величині $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ з потужністю алфавіту за добутком величин УП базису відповідає за функціоналом нерівномірною за довжиною n_ξ (кількістю елементів, $n_\xi = \text{var}$) послідовність $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ багатозначних величин $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ з потужністю алфавіту згідно до обмежень $w(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}$. Таке має опис:

$$L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} \xrightarrow{F_{\text{decod}}^{(1)}} U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = \{u(\alpha, \beta, \tau)_1^{(\ell, \xi)}; \dots; u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}; \dots; u(\alpha, \beta, \tau)_{n_\xi}^{(\ell, \xi)}\}.$$

Потрібно враховувати, що згідно до особливостей локаційно-діагонального формату нерівномірною величина n_ξ має залежність від індексу локації діагоналі у трансформанті сегменту. В основі лежить структурність діагоналей двовимірного масиву. Звідси довжина

n_ξ діагоналі має детерміновану залежність від її порядкового локації ξ в трансформанті. Це може використовуватись для визначення останнього та першого елементів діагоналі в процесі її відновлення. Тут може використовуватись вираз

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

Реалізація процесу локаційно-діагонального декодування елементів $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ перехідних чисел $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ за кодом $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ забезпечується з врахуванням властивостей УП базису. За такою властивістю локаційний код $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ утворюється сумою складових $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$:

$$L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} = \sum_{\chi=1}^{n_\xi} \Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}. \quad (2)$$

Величина $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ є інформативно-позиційною вагою УП базу, яка залежить від потужності множин допустимих послідовностей (перехідних чисел). Така величина за відомою вагою $V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ χ -го елемента в УП базисі визначається формулою:

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

Такий формат коду $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ лежить в основі формування першого підходу для декодування послідовності $U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$.

Підхід базується на тому, що величина $\Delta_\chi V(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ залежить від кількості допустимих послідовностей $\Delta_\chi \tilde{U}(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ з перехідних чисел, що локалізуються в межах довжини $(n_\xi - \chi + 1)$. Допустима множина таких послідовностей формується за умов того, що вони: передують складовій $\Delta_\chi U(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ поточного ξ -го числа; змінюються за умов УП базису лише значення t_χ молодших елементів відносно локації з індексом $(\chi - 1)$. Тоді, якщо $t_\chi < u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$, то поточне значення $\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ локаційного коду складової перехідного числа зі старшим елементом $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$, буде мати наступний діапазон значень

$$t_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \leq \Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} < (t_\chi + 1) \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}. \quad (3)$$

Отримане співвідношення потрібно вирішити відносно величини μ_χ . Для цього пропонується провести нормалізацію виразу (3) з врахуванням виключення ваги $V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$ за умов

$$0 \leq \frac{\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} - t_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}}{V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}} < \frac{(t_\chi + 1) \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} - t_\chi \cdot V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}}{V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}};$$

$$0 \leq (\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} / V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}) - 1 < t_\chi.$$

З даного співвідношення можна вилучити величину μ_χ , а саме:

$$t_\chi = \left[\frac{\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}}{V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}} \right]. \quad (4)$$

Тоді значення χ -го елемента ξ -го перехідного числа буде знаходитися за виразом:

$$u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} = t_\chi = \left[\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)} / V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} \right]. \quad (5)$$

Отримані співвідношення дозволяють реалізувати першій підхід відносно декодування елементів перехідних чисел. В основі виразів (4) та (5) лежить опису меж діапазону значень локаційних кодів за співвідношенням (3). Водночас це

того, що знак рівняння в його лівій частині досягатиметься для $u(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)} = 0$. Звідси матимемо наступну послідовність математичних перетворень:

лише створює необхідні умови для відновлення перехідних чисел діагоналей трансформант.

Це зумовлено тим, що на момент відновлення χ -го елемента значення величини $\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ є не визначеним. Отже потрібно встановити значення величини $\Delta_\chi E(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ за допомогою відомих: кодового значення $L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$ та вагового коефіцієнту $V(\alpha, \beta, \tau)_\chi^{(\ell, \xi)}$. Тут можливим є другий підхід – безпосереднього (прямого) визначення поточного кодового значення $\Delta_\chi L(\alpha, \beta)_\tau^{(\ell, \xi)}$. Процес декодування пропонується проводити починаючи зі старших елементів УПЧ (рис. 1).

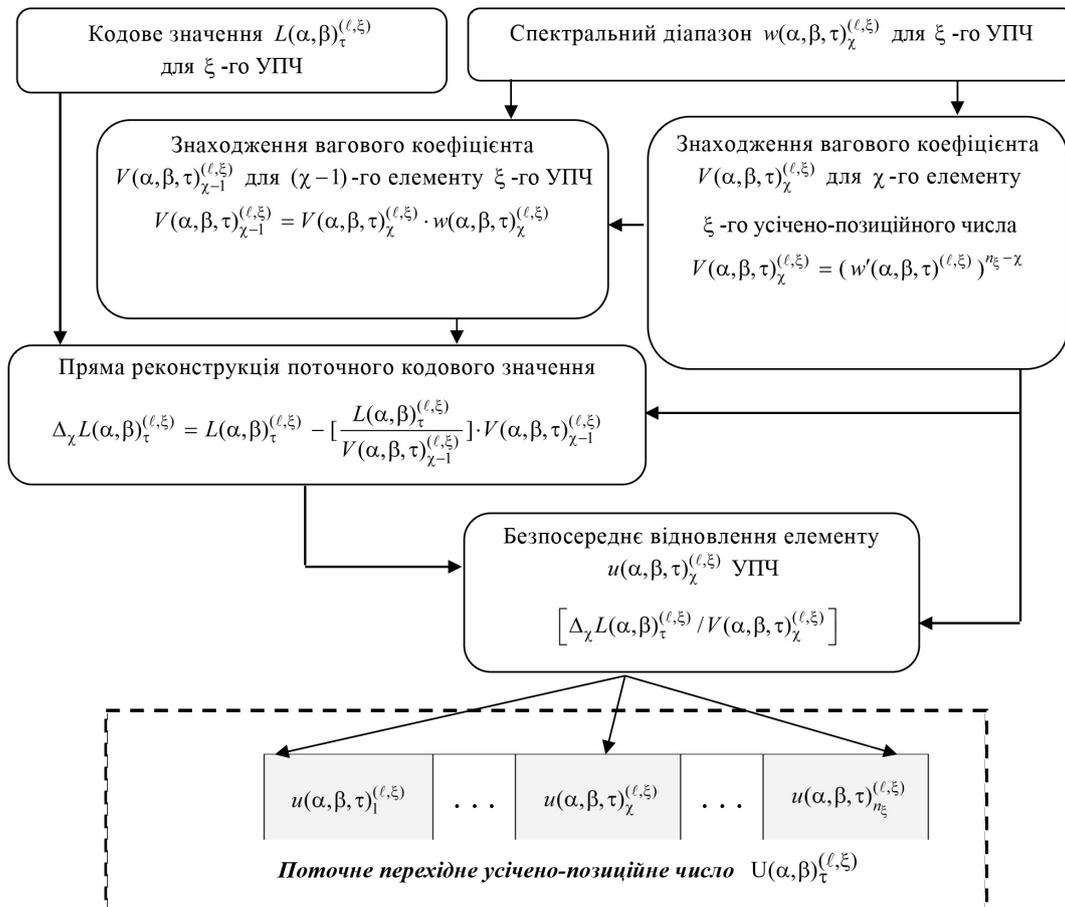


Рис. 1. Структурно-функціональна схема безпосереднього (прямого) відновлення перехідних діагональних чисел в усічено-позиційному базисі

Висновки

1. Розроблено метод відновлення відеоданих в локаційно-діагональному форматі трансформованих сегментів відеозображення. Це дозволяє забезпечити потрібний рівень семантичної цілісності відновлених відеоданих в усічено-позиційному базисі без втрат компресійних властивостей за умов локалізації впливу кількості психовізуальної надмірності, що усувається, на рівень зменшення бітового об'єму.

2. Розроблено функціональні перетворення для зворотного процесу залежності між значенням локаційного коду та перехідним форматом діагональних послідовностей. Функціонал базується на двох складових, а саме стосовно забезпечення:

а) необхідної умови відновлення перехідних чисел на основі врахування функціональної залежності для значення поточного старшого елемента від його ваги та локаційного коду;

б) достатньої умови для відновлення елементів перехідних чисел на основі математичного співвідношення для безпосереднього (прямого) встановлення поточного кодового значення УПЧ в залежності від початкового коду та ваги старшого елемента. Воно базується на таких властивостях усічено-позиційних кодових перетворень, як :

- обмеженості поточного кодового значення вагою попереднього старшого елемента;

- незалежності вагових коефіцієнтів елементів УПЧ.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Fengyong Li, Zhen Qi, Xinpeng Zhang, Chuan Qin. *Progressive Histogram Modification for JPEG Reversible Data Hiding*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 34, no. 2, 2024, pp. 1241–1254. doi: 10.1109/TCSVT.2023.3288038
- [2] 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>.
- [3] Časlav Livada, Tomislav Horvat, Alfonzo Baumgartner. *Novel Block Sorting and Symbol Prediction Algorithm for PDE-Based Lossless Image Compression*. Applied Sciences, vol. 13, no. 5, 2023. doi: 10.3390/app13053152
- [4] 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>.
- [5] Quentin Bammeey. *JADE OWL: JPEG 2000 Forensics by Wavelet Offset Consistency Analysis*. ICIVC 2023 – 8th International Conference on Image, Vision and Computing. doi: 10.1109/ICIVC58118.2023.10270699.
- [6] Hao Zhang, Xiao-qing Wang, Yu-jie Sun, Xingyuan Wang. *A novel method for lossless image compression and encryption based on LWT, SPIHT and cellular automata*. Signal Processing: Image Communication, vol. 84, 2020. doi: 10.1016/j.image.2020.115829
- [7] 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.
- [8] Xiyu Sun, Zhong Chen, Lujie Wang, Chenchen He. *A lossless image compression and encryption algorithm combining JPEG-LS, neural network and hyperchaotic system*. Nonlinear Dynamics, vol. 111, 2023, pp. 15445–15475. doi: 10.1007/s11071-023-08622-4.
- [9] Zia U., McCartney M., Scotney B. et al. Survey on image encryption techniques using chaotic maps in spatial, transform and spatiotemporal domains. *International Journal of Information Security*. 2022. Vol. 21. P. 917–935. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00588-5>.
- [10] Hongjie He, Yuan Yuan, Yuyun Ye, Heng-Ming Tai, Fan Chen. Chosen plaintext attack on JPEG image encryption with adaptive key and run consistency. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 90, 2023. doi: 10.1016/j.jvcir.2022.103733
- [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] G. Pekhimenko, M. Seltzer. Understanding Image Compression Artifacts: A Comprehensive Spectral and Structural Analysis. *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 29, 2020, pp. 995–1008. doi: 10.1109/TIP.2019.2945678
- [13] Y. Jeong, H. Lee. Perceptual Characteristics of Blocking and Ringing Artifacts in Modern Codecs. *Signal Processing: Image Communication*, vol. 86, 2020. doi: 10.1016/j.image.2020.115921.
- [14] Barannik V. V., Kharchenko N., Tverdokhlebo V. V., Kulitsa O., "The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality," *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, Ukraine, 2016, pp. 902–904, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452220.
- [15] Y. Lin, M. Chen. On the Relationship Between Transform Quantization and Texture Loss in

- Image Compression. *IEEE Access*, vol. 10, 2022, pp. 117233–117245. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3214567.
- [16] V. Barannik, S. A. Podlesny, K. Yalivets and A. Bekirov, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword," *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, Ukraine, 2016, pp. 52–54, doi: 10.1109/TCSET.2016.7451965.
- [17] Jiang J., Wang S. Frequency-domain modeling of ringing and blurring in DCT-based image compression. *Digital Signal Processing*. 2021. Vol. 113. Art. 103047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2021.103047>
- [18] V. Barannik and S. Karpenko, "Method of the 3-D image processing," *2008 International Conference on "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" (TCSET)*, Lviv, UKraine, 2008, pp. 378–380.
- [19] T. Richter, F. Bell. JPEG and Next-Generation Image Coding: Artifact Taxonomy and Quantization Behavior. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 78, 2021. doi: 10.1016/j.jvcir.2021.103177
- [20] 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 (ICCST): proceedings of the IEEE International Conference*. 2012. P. 135–139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
- [21] Barannik V., et al. Method of coding video images based on meta-determination of segments. *Digital Ecosystems: Interconnecting Advanced Networks with AI Applications : TCSET 2024 / A. Luntovskyy, M. Klymash, I. Melnyk, M. Beshley, A. Schill (eds.). Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2024. Vol. 1198. Cham : Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3_27.
- [22] A. Alvarado, R. Schmidt. Evaluation of In-Loop Filters and Their Limitations in Reducing Compression Artifacts in HEVC and AV1. *IEEE ICIP*, 2021, pp. 1461–1465. doi: 10.1109/ICIP42928.2021.9506099
- [23] 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>.
- [24] V. Barannik, K. Revva, R. Onyshchenko, M. Babenko, O. Shaigas and G. Pris, "Method of Integrating Infocommunication Technology for Encoding Video Segments into Standardized Platforms," *2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv, Ukraine, 2024, pp. 42–47, doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755845.
- [25] Barannik V., Khimenko V., Barannik N., Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. № 4. PP. 119–131. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
- [26] K. Zhang, Y. Chen. Characterization of Blocking Artifacts and Their Propagation in Lossy Image Compression. *Image and Vision Computing*, vol. 105, 2021. doi: 10.1016/j.imavis.2020.104042
- [27] V.V. Barannik, Yu. N. Ryabukha, O.S. Kulitsa The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems, *Telecommunications and Radio Engineering*, Volume 76, Issue 9, 2017, pp. 785–797. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40
- [28] C. Seo, M. Kim. Limitations of Deblocking Filters in High-Efficiency Video Coding Under Low Bitrates. *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 24, 2022, pp. 3451–3464. doi: 10.1109/TMM.2021.3067641
- [29] 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.
- [30] V. Barannik and A. Shiryayev, "Quadrature compression of images in polyadic space," *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, Lviv, UKraine, 2012, pp. 422–422.
- [31] Бараннік В. В., Ревва К. В., Шульгін С. С., Бабенко Ю. М., Онищенко Р. С., Белікова Т. В., Ігнат'єв О. О. Технологія ковзного кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radio-tekhnika Radioaparotobuduvannia*, (94), pp. 41–53. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2023.94.13-23>
- [32] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Бараннік Д. В., Онищенко Р. С., Ревва К. В., Ігнат'єв О. О. Метод формування інформативно-позиційної ваги для усічено-позиційної кодової системи представлення трансформованих відеосегментів. *Наукоємні технології*. 2023. № 2. С. 156–163. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.58.17652>.
- [33] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Бараннік Д. В., Онищенко Р. С., Ревва К. В. Метод усічено-позиційного декодування трансформант за нерівномірно-діагональним форматом. *Наукоємні технології*. 2023. № 3. С. 280–288. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17949>

Баранник В. В., Ревва К. В.

МЕТОД ДЕКОДУВАННЯ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ ЗА ДІАГОНАЛЬНО-ЛОКАЦІЙНИМ ФОРМАТОМ

В статті показується, що передача відеоданих з зростаючою бітовою інтенсивністю організується на основі інфокомунікаційних мереж безпроводового сегменту. Характерною ознакою таких типів мережних технологій є їх обмежена продуктивність за швидкістю передачі даних. Це формує дисбаланс в процесі забезпечення достатньої якості відеоконтенту. Зумовленість дисбалансу спричиняє недостатній рівень швидкості передачі даних в мережах відносно бітової інтенсивності відеоданих згідно сучасних вимог замовників. Локалізація недостатнього рівня швидкості передачі даних можлива шляхом застосування технологій обмеження бітової інтенсивності відеопотоку. Основний добуток щодо стиснення для цих технологій ґрунтуються на усуненні кількості психовізуальної надмірності. Врахування психовізуальної надмірності реалізується під час: макро-форматування відеозображень; перетворення відеозображення у спектральний простір; квантування спектральних коефіцієнтів. Однак такі перетворення мають ознаки втратної природи. Це є причиною появи характерних компресійних артефактів, що спричиняє порушення структурного та семантичного змісту та характеру зв'язків складових відеозображень. Тому показана необхідність розробки методів стиснення з наявністю механізмів відновлення відеоданих з потрібним рівнем семантичної цілісності. В угоду вдосконалення технологій стиснення в напрямку забезпечення потрібного рівня стиснення за умов збереження компресійних властивостей можна окреслити підходи, який базується на розробці процесів стиснення з локалізацією впливу психовізуальної складової на досягнення рівня стиснення відеоданих. Серед реалізацій підходу щодо зменшення впливу кількості надмірності психовізуального типу на рівень стиснення є метод кодування в форматі діагонально-спектральної локації. Водночас процеси відновлення для таких кодових структур мають недостатню технологічну базу. Розроблено метод відновлення відеоданих в локаційно-діагональному форматі трансформованих сегментів відеозображення. Це дозволяє забезпечити потрібний рівень семантичної цілісності відновлених відеоданих в усічено-позиційному базисі без втрат компресійних властивостей за умов локалізації впливу кількості психовізуальної надмірності, що усувається, на рівень зменшення бітового об'єму.

Ключові слова: відеоконтент, інфокомунікаційна мережа, декодування, трансформанта, відновлення відеозображень.

Barannik V., Revva K.

METHOD OF DECODING TRANSFORMANT COMPONENTS BY THE DIAGONAL-LOCATION FORMAT

The article shows that the transmission of video data with increasing bit intensity is organized on the basis of infocommunication networks of the wireless segment. A characteristic feature of such types of network technologies is their limited performance in terms of data transmission speed. This forms an imbalance in the process of ensuring sufficient quality of video content. The cause of the imbalance is the insufficient level of data transmission speed in networks relative to the bit intensity of video data according to modern customer requirements. Localization of the insufficient level of data transmission speed is possible by applying technologies for limiting the bit intensity of the video stream. The main result regarding compression for these technologies is based on removing the amount of psychovisual redundancy. The consideration of psychovisual redundancy is implemented during: macro-formatting of video images; transforming the video image into the spectral domain; quantization of spectral coefficients. However, such transformations have signs of a lossy nature. This is the reason for the appearance of characteristic compression artifacts, which cause violations of the structural and semantic content and the nature of relationships between the components of video images. Therefore, the necessity of developing compression methods with the presence of mechanisms for restoring video data with the required level of semantic integrity is shown. For the purpose of improving compression technologies in the direction of ensuring the required level of compression under conditions of preserving compression properties, one can outline approaches based on developing compression processes with localization of the influence of the psychovisual component on achieving the level of video data compression. Among the implementations of the approach regarding reducing the influence of the amount of psychovisual redundancy on the level of compression is the coding method in the diagonal-spectral location format. At the same time, restoration processes for such code structures have an insufficient technological basis. A method has been developed for restoring video data in the location-diagonal format of transformed segments of the video image. This makes it possible to ensure the required level of semantic integrity of the restored video data in the truncated-positional basis without loss of compression properties under conditions of localizing the influence of the amount of removed psychovisual redundancy on the level of bit-volume reduction.

Keywords: video content, infocommunication network, decoding, transformant, restoration of video images.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2025 р.
Прийнято до друку 10.12.2025 р.