

DOI: 10.18372/2310-5461.66.20318
УДК 004.622: 517.927

В. В. Бараннік

Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0003-3516-5553
e-mail: valera462000@gmail.com

МЕТОД РЕВЕРСНОГО НЕРІВНОВАЖНОГО ПОЗИЦІЙНОГО КОДУВАННЯ З ДВОНАПРАВЛЕНОЮ ЛЕКСИКОГРАФІЄЮ

Вступ

Одна з ключових особливостей сучасних інформаційно-інтелектуальних систем полягає у необхідності одночасного збору інформації з великої кількості дистанційних сенсорів та проведення її подальшого аналізу з використанням технологій штучного інтелекту [1; 2]. Задачі такого характеру притаманні концепціям: «Безпечне місто»; «*Smart city*»; «Системи автономного наземного транспорту»; «Управління роєм безпілотних систем» [3]. В цьому випадку базовим типом інформаційних потоків є відеоінформація [4; 5]. Відповідно для забезпечення вимог ефективного функціонування технологій штучного інтелекту потрібно забезпечити відеоінформацію належної якості [6]. Сюди перш за все слід віднести такі вимоги [7 – 9]:

- розподільна здатність відеозображень в кадровому та піксельному просторах, що визначає показник повноти;

- візуальна якість відеозображень на приймальній стороні, що в загальному випадку визначає рівень цілісності інформації;

- точність передачі контурних компонент об'єктів інтересу, які мають ключове значення для функціонування прикладних концепцій;

- часові витрати на обробку та передачу інформації з врахуванням всіх рівнів автоматизованої системи управління;

- часові затримки в процесі аналізу інформації та виробітки рішень;

- рівень захищеності відеоінформації відносно: несанкціонованого доступу; деструктивного впливу перешкод в процесі передачі інформації з використанням бездротових інфокомунікаційних систем (БІКС).

За таких умов окреслюється фактор стосовно того, що не вистачає продуктивності сучасних БІКС для забезпечення вимог функціонування прикладних концепцій [10]. Звідси витікає потреба у подальшому розвитку технологій компресії відеоданих [11–13]. Це відповідно визначає актуальність науково-прикладної задачі щодо

подальшого вдосконалення технологій компресії відеоданих в умовах забезпечення вимог до їх якісних характеристик.

Аналіз сучасних досліджень та постановка завдання

Розробкою нових та вдосконаленням існуючих технологій стиснення займаються багато вчених. Умовно всі методи компресії можна поділити на два типи [14; 15]. Тоді методи різних типів відрізняються наявністю у своєму функціональному складі технологій скорочення надмірності згідно до психо-контентної моделі [16; 17]. Методи обох типів в загальному випадку використовують в комплексних системах стиснення. Вони взаємодоповнюють один одного [18]. Особливо це характерно у разі потреби збільшення практичного рівня компресії в умовах високого рівня інформативності відеозображень [19; 20]. За таких умов використання психо-контентної моделі дозволяє забезпечити рівень стиснення в обмежених межах. Як правило цього рівня недостатньо для організації належного відеоінформаційного забезпечення [21; 22]. Інакше подальше використання технологій усунення психовізуальних особливостей призведе до втрати розподільної здатності та руйнації об'єктів інтересу [23; 24].

В таких випадках додаткове стиснення можливо досягти з використанням методів другого типу [25]. Такі методи враховують структурно-контентні та статистично-контентні особливості відеозображень [26; 27]. Звідси необхідно здійснювати подальше вдосконалення групи методів психо-незалежних властивостей.

Постановка проблеми

Перспективними представниками методів другого типу є технології структурно-позиційної компресії. Базовим методом тут є нерівноважне позиційне (НП) кодування [28; 29]. Метод НП-кодування показали свою ефективність для стиснення ділянок відеозображень з різним рівнем інформативності. Основною особливістю таких методів є залежність їх ефективності від налаш-

тування процесу виявлення структурно-позиційних залежностей в ділянках з динамічно-змінною довжиною. Тому одно-направленість побудови лексикографічних правил виявляє певні недоліки [30]. Звідси пропонується створювати методи НП-кодування з врахуванням дво-направленого вектору лексикографії. Відповідно до чого, *мета досліджень статті* полягає у розробці методу реверсного нерівноважного позиційного кодування з двонаправленою лексикографією у режимі розподілу ваги за молодшими елементами.

Розробка методу реверсного нерівноважного позиційного кодування з двонаправленою лексикографією у режимі розподілу ваги за молодшими елементами

Необхідно розробити технологію кодування в нерівноважному позиційному базисі, що визначається функціоналом $F(P_1; P_2; P_3; P_4; P_5; P_6; P_7)$ в умовах виконання вимог відносно скорочення залишкової кодової надмірності на рівнях формування кодових значень НВП чисел та їх кодограм

$$\begin{cases} \Delta R(E)_j = [\sum_{i=1}^m \log_2 g_i] - [\sum_{i=1}^m \log_2 a_{i,j}] \rightarrow \min; \\ \Delta R(V)_j = [\sum_{i=1}^m \log_2 g_i] - [\log_2 E_j] \rightarrow \min. \end{cases}$$

При цьому згідно створеної методологічної бази щодо удосконалення нерівноважної пози-

ційної системи встановлюються такі параметри кодування в НРП-базисі:

- P_1 - мірність визначення базису G основ – двовимірна з одночасним врахуванням динамічних діапазонів по рядках та стовбцях (рис. 1);
- P_2 - мірність послідовності, для якої знаходиться кодове значення – одновимірна, створюється на базі окремих стовбців масиву даних (трансформанта або відеосегмент, (рис. 1));
- P_3 - напрямок обходу елементів в багатомірній структурі – в напрямку стовбців (рис. 1);
- P_4 - напрямок кодування – реверсний;
- P_5 - порядок розподілу вагових коефіцієнтів за елементами позиційних чисел - в режимі розподілу ваги за молодшими елементами, тобто реалізується режим LIMW;
- P_6 - напрямок індексації значень елементів в робочих діапазонах (лексикографія) – адаптивний двонаправлений;
- P_7 - стратегія визначення довжини кодограми для кодового значення позиційних чисел – нерівномірна без залучення додаткових службових відомостей.

Вхідною інформацією для реалізації реверсного кодування за двонаправленою лексикографією є: двовимірна система основ $G^{(2)}$, розміри трансформанти $(m \cdot n)$.

При цьому *пропонується* наступні уточнення процесу кодування:

- в якості старшого елемента обирати перші елементи $a_{1,j}$, $j=\overline{1,n}$ стовбців, що відповідають низькочастотним компонентам трансформанти ДКП;

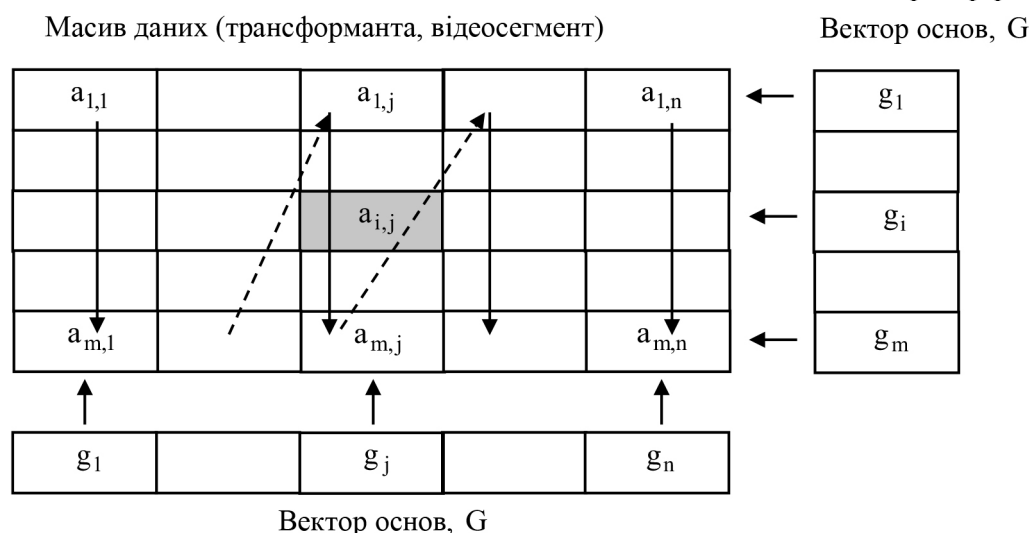


Рис. 1. Схема організація нерівноважного позиційного простору, а саме : створення одновимірних НВПЧ на базі стовбців масиву даних в двовимірному НРП-базисі

- індексація перших елементів $a_{1,j}$, $j=\overline{2,n}$ НРП чисел, крім першого елемента $a_{1,1}$ першого НВП числа A_1 , здійснюється в одно напавлено-

му лексикографічному напрямку відносно нульового рівня. Це обумовлено тим, що для перших елементів НРПЧ ще невідома попередня структурно-статистична інформація;

- індексація низькочастотного елементу $a_{1,1}$ трансформанти пропонується організовувати у зворотному порядку лексикографії. Це обумовлено тим, що його значення є найбільшим в трансформанті, та отже однозначно визначає його основу $g_{1,1}$. Тоді відомо що різниця між ними буде дорівнювати одиниці, тобто $(g_{1,1} - a_{1,1} = 1)$.

З врахуванням чого, отримуємо наступне рекурентне співвідношення для формування кодового значення E_j для НРП числа в двовимірному НРП базисі за двонаправленою лексикографією, а саме:

$$\begin{aligned} \bar{E}(1)_j &= a_{1,j} \cdot \text{sign}(j), \quad \tau = 1; \\ E(\tau)_j &= E(\tau)_j + \\ &+ (g_{\tau,j} (1 - (1 - \text{sign}(a_{\tau-1,j} - g_{\tau-1,j} / 2))) - \\ &- (-1)^{\text{sign}(a_{\tau-1,j} - g_{\tau-1,j}/2)} a_{\tau,j}) \cdot \prod_{\xi=1}^{\tau-1} g_{\xi,j}; \\ \tau &= \overline{2, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (1)$$

В цьому виразі прийняті наступні позначення
- $\bar{E}(1)_j$ - початкове значення величини E_j на основі першого елементу j -го НРП числа, яке в залежності від індексу стовбцю трансформанти дорівнює:

$$\bar{E}(1)_j = \begin{cases} 0, & \rightarrow j = 1; \\ a_{1,j}, & \rightarrow j \geq 2; \end{cases}$$

- $E(\tau-1)_j, E(\tau)_j$ - поточні значення величини E_j відповідно на $(\tau-1)$ -му та τ -му кроках процесу реверсного кодування;

- $g_{\xi,j}$ - значення основи для елементу $a_{\xi,j}$;

- $\prod_{\xi=1}^{\tau-1} g_{\xi,j}$ - ваговий коефіцієнт для τ -го елементу

НВПЧ в режимі його реверсного кодування в напрямку розподілу ваги за молодшими елементами.

Якщо позначити величину $\prod_{\xi=1}^{\tau-1} g_{\xi,j}$ як $W_{\tau,j}$, то рекурентний вираз (1) прийме наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \bar{E}(1)_j &= a_{1,j} \cdot \text{sign}(j), \quad \tau = 1; \quad (2) \\ E(\tau)_j &= E(\tau+1)_j + \\ &+ (g_{\tau,j} (1 - (1 - \text{sign}(a_{\tau-1,j} - g_{\tau-1,j} / 2))) W_{\tau,j} - \\ &- (-1)^{\text{sign}(a_{\tau-1,j} - g_{\tau-1,j}/2)} a_{\tau,j} W_{\tau,j}; \\ \tau &= \overline{2, m}; \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (3)$$

Звичайно, що вихідне (результуюче) значення величини E_j формується після реверсної обробки m -го елементу НРП числа, тобто:

$$\begin{aligned} E_j &= E(m)_j = E(m-1)_j + \\ &+ (g_{m,j} (1 - (\text{sign}(a_{m-1,j} - g_{m-1,j} / 2))) W_{m,j} - \\ &- (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{m-1,j} - g_{m-1,j}/2))} a_{m,j} W_{m,j} \\ j &= \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (4)$$

Отримані рекурентні вирази (2)–(4) можна згорнути до загального співвідношення для визначення кодового значення E_j :

$$\begin{aligned} E_j &= a_{1,j} \cdot \text{sign}(j-1) + \\ &+ \sum_{\tau=2}^m ((g_{\tau,j} (1 - (\text{sign}(a_{\tau-1,j} - g_{\tau-1,j} / 2))) W_{\tau,j} - \\ &- (-1)^{\text{sign}(a_{\tau-1,j} - g_{\tau-1,j}/2)} a_{\tau,j} W_{\tau,j}) \end{aligned} \quad (5)$$

Отже розроблені вирази (2) – (4) та (5), які дозволяють провести модифіковане рекурентне реверсне кодування в НРП-базисі в напрямку розподілу вагових коефіцієнтів за молодшими елементами з врахуванням адаптивної двонаправленої лексикографії.

Відповідна структурна функціональна схема процесу реверсного кодування в режимі розподілу вагових коефіцієнтів за молодшими елементами в двовимірному НРП-базисі з двонаправленою лексикографією наведено на рис. 2.

Розглянемо приклад кодування на основі створеного методу реверсного кодування (СМРК).

Приклад. Порівняння кодових значень для різних технологій лексикографії. Розглянемо трансформанту A , яка отримана для відеосегменту, що містить контурні перепади, а саме:

	239	13	11	9	0	0	0	0
	7	0	8	0	0	0	0	0
	0	0	9	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
$A =$	11	0	24	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

В даному прикладі трансформування відео масиву проводиться з квантуванням зі збереженням фактору візуальної оцінки на рівні 90 %. Для визначеності будемо обчислювати коди для стовбцю з індексом 3. В цьому випадку кодові значення позначаються для різних режимів реверсного позиціонування, як відповідно E_3, E_3'' . В таких умовах значення величин E_3 та E_3'' відповідно дорівнюватимуть: $E_3 = 56236$; $E_3'' = 11$. Звідси двійковий опис таких кодів потребує відповідно 16 та 4 біти, що дозволяє стверджувати збільшення ефективності компресії для двонаправленого позиційного кодування в 4 рази.

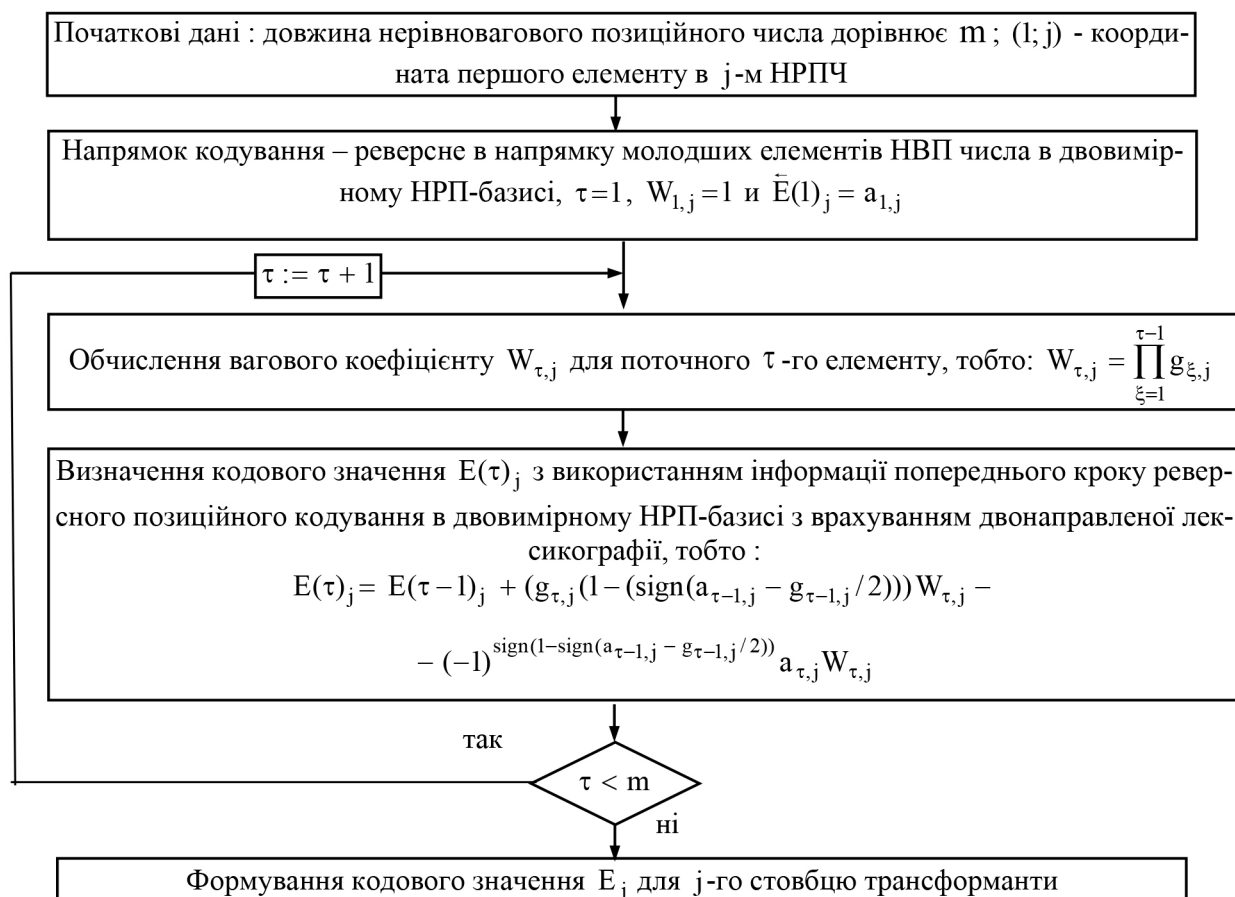


Рис. 2. Структурно-функціональна схема реверсного кодування стовбців трансформанти в двовимірному НРП-базисі в напрямку посилення ваги молодших елементів з двонаправленою лексикографією

Висновки

По представленому матеріалу досліджень можна зробити наступні висновки:

1) створено метод реверсного кодування НВП чисел з посиленням ваги їх молодших елементів в двовимірному НВП просторі з двонаправленою лексикографією, який додатково враховує: локальні структурно-статистичні закономірності в процесі індексування значень елементів в робочих діапазонах; локалізацію верхніх меж динамічних діапазонів елементів шляхом одночасного врахування двовимірних структурних обмежень по рядках та стовбцях трансформанти.

2) розроблено метод компресійного кодування трансформант на основі скорочення надмірності, яка обумовлена:

- структурно-комбінаторними обмеженнями на динамічні діапазони спектральних компонент трансформанти ДКП одночасно в двох напрямків (за рядками та стовбцями), досягається скорочення залишкової кодової надмірності на рівні формування кодових значень;

- локальними структурно-статистичними закономірностями стосовно трендових залежностей

тей по значенням відхилень елементів щодо відповідних основ, забезпечується локалізація збільшення значень елементів НВП чисел, наприклад значень низькочастотних та середньочастотних компонент трансформанти;

- створенням умов для зменшення залишкової кодової надмірності на рівні формування кодограм.

Наукова новизна. Удосконалено метод нерівновагового позиційного кодування на основі реверсного режиму посилення ваги молодших елементів. Основні відмінності методу полягають у тому, що кодове значення формується з врахуванням: адаптивної двонаправленої лексикографії в двовимірному нерівноваговому позиційному базисі; обнуління значення низькочастотної компоненти трансформанти. Це дозволяє додатково скоротити бітовий об'єм на представлення трансформованих відеосегментів без втрати інформації.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Козловський В. 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>.
- [2] Одарченко Р. 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] Бараннік В. В. 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>.
 - [4] Barannik V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of Intern. Conf. (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19–23, 2008), Lviv-Slavsko, 2008. P. 378–380.
 - [5] Odarchenko R. 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>.
 - [6] Krasnorutsky A. and Barannik V. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks. *Radio-electronic and Computer Systems*, 2022, no 4(100). PP. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
 - [7] 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.
 - [8] R. Onyshchenko, D. 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.
 - [9] Chen T.-H. 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.
 - [10] D. Barannik and V. Barannik, "Steganographic Coding Technology for Hiding Information in Infocommunication Systems of Critical Infrastructure," 2022 *IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 88–91, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.
 - [11] V. Kolesnyk, V. Barannik "Method Taking into Account Level of Structural and Statistical Saturation of Video Segments in the Coding Process," 2022 *IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 66–71, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193.
 - [12] Бараннік В. В., Колесник В. О., Красноруцький А. О., Твердохліб В. В. Метод кодування трансформованих відеозображень в структурно-кластерному просторі. *Наукоємні технології*. 2022. № 3. С. 32–41. doi: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.55.16903>.
 - [13] 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.
 - [14] Barannik, V. et al. A Method of Scrambling for the System of Cryptocompression of Codograms Service Components. In: Klymash M., Luntovskyy A., Beshley M., Melnyk I., Schill A. (eds) *Emerging Networking in the Digital Transformation Age. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 965. Springer, Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
 - [15] G. Garg and R. Kumar. "Analysis of image types, compression techniques and performance assessment metrics: A review," *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 43, no. 3, pp. 429–436, 2022. doi: 10.1080/02522667.2022.2037282.
 - [16] 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>.
 - [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 (ICCST)*: proceedings of the IEEE International Conference. 2012. P. 135–139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
 - [18] Бараннік Д. В., Оніщенко Р. С., Ревва К. В., Бараннік В. В., Бабенко Ю. М. Метод оцінювання ефективності усічено-позиційного кодування для інфокомунікаційних систем. *Наукоємні технології*. 2024. № 2. С. 175–184. doi: 10.18372/2310-5461.62.18711.
 - [19] Omar H. M., Morsli M. and Yaichi S. "Image Compression using Principal Component Analysis," Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Mathematics and Information Technology (ICMIT), 2020, pp. 226–231. doi: 10.1109/ICMIT47780.2020.9047014.
 - [20] Barannik V., Barannik N., Slobodyanyuk O. Indirect information hiding technology on a multiadic basis // *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 2021, Volume T. 11, nr 4, Pages 14–17. DOI 10.35784/iapgos.2812.
 - [21] T. J. Shah and M. T. Banday, "A Review of Contemporary Image Compression Techniques and Standards," in *Examining Fractal Image Processing and Analysis*, S. R. Nayak and J.

- Mishra, Eds. Hershey, PA: IGI Global, 2020, pp. 121–157. doi: 10.4018/978-1-7998-0066-8.ch006.
- [22] 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>.
- [23] A. Putra, S. Supriadi, A. Wibawa, A. Pranolo and A. Gaffar. "Modification of a gray-level dynamic range based on a number of binary bit representation for image compression," Science in Information Technology Letters, vol. 1, no. 1, pp. 9–16, 2020. doi: 10.31763/sitech.v1i1.17.
- [24] Бараннік Д. В. Метод стегакомпресійного декодування інформації для бездротових інформаційних технологій. *Наукоємні технології*. 2024. № 1. С. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.61.18512>.
- [25] 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.
- [26] Бараннік Д. В. Метод двокаскадної імплантації прихованої інформації на основі стегакомпресійних перетворень. *Інформаційні технології та електронна інженерія*. 2024. № 1. С. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.23939/ictet.2024.01.031>
- [27] Бараннік Д. В. Метод стегакомпресійного кодування на основі поліадичного базису. *Наукоємні технології*. 2023. № 3. С. 271–279. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17948>.
- [28] Бараннік Д. В. Технологія приховування інформативного контенту в динамічному потоці відеосегментів. *Наукоємні технології*. 2023. № 4. С. 408–415. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.60.18270>.
- [29] Бараннік В. В., Красноручкий А. О., Колесник В. О., Сушко А. Л., Єлісєєв Є. С. and Федоровський О. В. "Video Segments Stamping Method Saving Their Reliability in the Spectral-Cluster" Space: *Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika Radioaparaturbuduvannia*, (92), 2023, pp. 41–53. doi: 10.20535/RADAP.2023.92.41-53.
- [30] Barannik V. et al. Method of Coding Video Images Based on Meta-Determination of Segments. In: Luntovskyy A., Klymash M., Melnyk I., Beshley M., Schill A. (eds) Digital Ecosystems: Interconnecting Advanced Networks with AI Applications. TCSET 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1198. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3_27.

Бараннік В. В.

МЕТОД РЕВЕРСНОГО НЕРІВНОВАЖНОГО ПОЗИЦІЙНОГО КОДУВАННЯ З ДВОНАПРАВЛЕНОЮ ЛЕКСИКОГРАФІЄЮ

В статті обґрунтовується те, що окреслюється фактор стосовно того, що не вистачає продуктивності сучасних безпроводових інформаційно-комунікаційних систем (БІКС) для забезпечення вимог функціонування прикладних концепцій. Звідси витікає потреба у подальшому розвитку технологій компресії відеоданих. Умовно всі методи компресії можна поділити на два типи. Методи різних типів відрізняються наявністю у своєму функціональному складі технологій скорочення надмірності згідно до психо-контентної моделі. Методи обох типів в загальному випадку використовують в комплексних системах стиснення. Вони взаємодоповнюють один одного. Особливо це характерно у разі потреби збільшення практичного рівня компресії в умовах високого рівня інформативності відеозображень. За таких умов використання психо-контентної моделі дозволяє забезпечити рівень стиснення в обмежених межах. В таких випадках додаткове стиснення можливо досягти з використанням методів другого типу. Такі методи враховують структурно-контентні та статистично-контентні особливості відеозображень. Звідси необхідно здійснювати подальше вдосконалення групи методів психо-незалежних властивостей. Перспективними представниками методів другого типу є технології структурно-позиційної компресії. Базовим методом тут є нерівноважне позиційне (НП) кодування. Метод НП-кодування показали свою ефективність для стиснення ділянок відеозображень з різним рівнем інформативності. Основною особливістю таких методів є залежність їх ефективності від налаштування процесу виявлення структурно-позиційних залежностей в ділянках з динамічно-змінною довжиною. Тому одно-направленість побудови лексикографічних правил виявляє певні недоліки. Звідси пропонується створювати методи НП-кодування з врахуванням дво-направленого вектору лексикографії. Викладаються основні етапи створення методу реверсного кодування НП чисел з посиленням ваги їх молодших елементів в двовимірному НП просторі з двонаправленою лексикографією, який додатково враховує: локальні структурно-статистичні закономірності в процесі індексування значень елементів в робочих діапазонах; локалізацію верхніх меж динамічних діапазонів елементів шляхом одночасного врахування двовимірних структурних обмежень по рядках та стовбцях трансформанти.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні системи, відеозображення, стиснення, нерівноважне позиційне кодування, лексикографія.

Barannik V.**METHOD OF REVERSE NONEQUILIBRIUM POSITIONAL ENCODING WITH BI-DIRECTIONAL LEXICOGRAPHY**

The article substantiates the existence of a limiting factor: the insufficient performance of modern wireless information and communication systems (WICS) to meet the requirements of applied operational concepts. This indicates the need for further development of video data compression technologies. Conditionally, all compression methods can be divided into two types. These types differ in their use of redundancy reduction technologies based on a psycho-content model. Both types of methods are generally used together in complex compression systems, complementing each other. This is especially relevant when high practical compression levels are required for video images with high informational density. Under such conditions, the psycho-content model enables compression within certain bounds. Additional compression beyond these limits can be achieved using methods of the second type, which take into account structural-content and statistical-content characteristics of video images. This highlights the need to further improve psycho-independent methods. Promising representatives of the second type are structural-positional compression technologies, with Nonequilibrium Positional (NEP) encoding being the foundational method. NEP encoding methods have demonstrated effectiveness in compressing video segments with varying levels of informational content. A key feature of such methods is their dependence on the configuration of the detection process for structural-positional dependencies in dynamically changing segment lengths. Consequently, a unidirectional approach to constructing lexicographic rules reveals certain shortcomings. Therefore, it is proposed to develop NEP encoding methods that incorporate a bi-directional lexicographic vector. The article outlines the main stages in developing a reverse NEP encoding method that enhances the weight of lower-order elements in a two-dimensional NEP space with bi-directional lexicography. This approach also considers: local structural-statistical patterns during element value indexing within operational ranges; localization of the upper bounds of dynamic element ranges by simultaneously accounting for two-dimensional structural constraints along rows and columns of the transform domain.

Keywords: information and communication systems, video images, compression, nonequilibrium positional encoding, lexicography.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2025 р.
Прийнято до друку 11.06.2025 р.