

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.622: 517.927

DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.3.1/05

Бараннік В.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

МЕТОДОЛОГІЧНА БАЗА ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ НЕРІВНОВАЖНОГО ПОЗИЦІЙНОГО КОДУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В статті обґрунтовано, що важливим напрямком для підвищення якості надання відеоінформаційної продукції є удосконалення технологій та методів стиснення відеоданих. На даний час розроблено деяка кількість методів стиснення відеоданих. Доведено, що для переважної кількості найбільш апробованих на практиці методів властивий характерний недолік. Такий недолік стосується того, що досягнення практично-потрібних показників стиснення забезпечується лише за умов втрати візуальної якості (цілісності) відеоданих. Показано, що таке зумовлено занадто критичним усуненням кількості психовізуальної надлишковості. В статті стверджено, що можливі напрямки стосовно: розробки методів з можливістю змінювати параметри моделі врахування психовізуальних особливостей; вдосконалення технологій усунення надмірності на основі встановлення структурно-позиційних особливостей відеоданих. Показано, що перший варіант має певні обмеження у разі обробки насичених відеозображень аеромоніторингу. Отже стверджено, що важливим є розвиток другого напрямку вдосконалення методів стиснення. Обґрунтовано, що технологічним рішенням для структурного підходу щодо реалізації процесів стиснення відеоданих є методи нерівноважного позиційного (НРП) кодування. Доведено, що для методів такого класу притаманні певні недоліки, а саме стосовно впливу основ молодших елементів НРП-чисел на процес формування ваги старших елементів. Доведено, що вага старших елементів є визначальною щодо довжини кодового опису. Звідси обґрунтовано подальше вдосконалення методів структурного класу полягає у розробці напрямків усунення недоліків технологій НРП-кодування. В статті викладено розробку методології модифікації нерівноважної позиційної системи, яка базується на таких аспектах: формувати двовимірний нерівноважний позиційний базис на основі одночасного врахування структурних закономірностей за двома напрямками; створення адаптивної двонаправленої лексикографії з врахуванням локальних структурно-статистичних закономірностей масивів, що обробляються шляхом аналізу величини відхилення значень елементу та відповідної основи на попередньому кроці процесу реверсного кодування.

Ключові слова: інфокомунікації, безпілотні платформи, відеодані, стиснення, нерівноважне кодування.

Постановка проблеми. Розвиток прикладних застосувань в галузі інформаційних технологій, штучного інтелекту потребує постійного розвитку сервісів надання відеоінформаційної продукції (послуг). В сучасних умовах найбільш затребуваними є застосування, які стосуються використання безпілотних платформ (БП) в автономному та змішаних режимах управління [1, с. 4]. Висуваються критичні вимоги щодо характеристик якості надання відеоінформації для: управління БП; збору та доведення інформації в процесі моніторингу [2, с. 3]. Критичність таки вимог зумовлено наявністю

дисбалансу між швидкістю передачі даних в ІКС з одного боку, та рівнем інформаційного навантаження ІКС з іншого боку [3, с. 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливими шляхами для підвищення якості надання відеоінформаційної продукції з використанням БП є удосконалення технологій та методів стиснення відеоданих [4, с. 3; 5, с. 4]. Водночас для переважної кількості найбільш апробованих на практиці методів властивий характерний недолік. Він стосується того, що досягнення практично-потрібних показників стиснення забезпечується лише за умов

втрати візуальної якості (цілісності) відеоданих [6, с. 3; 7, с. 5]. Тут можливі такі напрямки вдосконалення [8, с. 2; 9, с. 3]: розробляти методи з можливістю змінювати параметри моделі врахування психовізуальних особливостей в залежності від контенту локальних ділянок відеоданих; вдосконалювати технології усунення надмірності на основі встановлення структурно-позиційних особливостей контенту відеоданих.

В загальному випадку потрібно вдосконалювати обидва варіанти. Першому варіанту надається певна увага в роботах [10, с. 4]. Водночас такий варіант має певні обмеження у разі обробки насичених відеозображень аеромоніторингу. Отже важливим є розвиток другого напрямку вдосконалення методів стиснення. Звідси актуальною *науково-прикладною задачею*, є вдосконалення технологій стиснення на основі структурно-позиційного кодування.

Постановка завдання. Базовим технологічним рішенням для структурного підходу щодо реалізації процесів стиснення відеоданих є методи нерівноважного позиційного (НРП) кодування [11, с. 3]. Методи НРП-кодування мають певну ефективність для збільшення рівня стиснення в умовах виключення втрат інформації. Водночас для методів такого класу притаманні певні недоліки. Вони стосуються впливу основ молодших елементів НРП-чисел на процес формування ваги старших елементів [12, с. 4]. Саме вага старших елементів є визначальною щодо довжини кодового опису. Звідси подальше вдосконалення методів структурного класу полягає у розробці напрямків усунення недоліків технологій НРП-кодування.

Таким чином *мета досліджень статті* стосується розробки методологічної бази щодо вдосконалення системи нерівноважного позиційного кодування відеоданих в інфокомунікаційних системах.

Виклад основного матеріалу. Для правил кодування позиційних чисел існують певні *системні недоліки*, а саме такі, що стосуються наступного:

1. Перший системний недолік, що характерний для систем нерівноважного позиційного (НРП) кодування, породжується *негнучкістю* встановленого правила лексикографії. Зазвичай при цьому потрібно враховувати напрямок розподілу вагових коефіцієнтів за елементами ПЧ, а саме: прямий або зворотній (реверсний); в напрямку старших або молодших елементів ПЧ.

В таких ситуаціях посилюється вплив ваги елементів, значення яких є найбільшими у НРПЧ. Тоді кодове значення E_j буде наближатися до максимально допустимого, величина якого визначається як накоплене множення основ g_t в межах встановленої системи G основ.

З іншого боку для заданої системи основ G кодове значення E_j для реверсного кодування в режимі розподілу вагових коефіцієнтів за старшими елементами НВПЧ теж буде наближатися до величини $(\prod_{i=1}^m g_i - 1)$. Тому знижується перевага реверсного кодування в режимі розподілу вагових коефіцієнтів за молодшими елементами.

Створення методологічної бази для вдосконалення (модифікації) системи нерівноважного позиційного кодування. Подальший розвиток систем нерівноважного позиційного кодування необхідно здійснювати в напрямку зменшення кількості залишкової надмірності, як на рівні формування кодових значень, так й на рівні побудови відповідних кодограм в умовах виключення додаткового використання службових відомостей. В цьому випадку забезпечується:

- по-перше скорочення кількості біт, які витрачаються на кодограми кодових значень нерівноважних позиційних чисел;
- по-друге фіксується кількість бітових затрат на кодове представлення службової інформації.

Отже в напрямку усунення виявлених недоліків систем кодування НРПЧ *пропонується* наступне.

1. Перший аспект методології розробляється для усунення дисбалансу в процесі побудови системи основ в НРП-базисі, який утворюється тим, що динамічні діапазони окремих елементів формуються в межах всього масиву без врахування його локальних особливостей. Тобто система основ будується з врахуванням глобальних (загальних) особливостей масиву (трансформанти, відеосегменту).

Пропонується формувати двовимірний нерівноваговий позиційний базис (ДНРБ). Тут основи $g_{i,j}$ елементів $a_{i,j}$ формуються як мінімальні значення з двох динамічних діапазонів g_i , g_j по i -му рядку та j -му стовбцю, тобто:

$$g_{i,j} = \min(g_i; g_j) = \min(\max_{1 \leq j \leq n} \{a_{i,j}\}; \max_{1 \leq i \leq m} \{a_{i,j}\}).$$

В цьому виразі величини m та n позначають кількість відповідно рядків та стовбців.

Встановлення системи основ з одночасним врахуванням інформації про структурні

особливості в рядках та стовбцях трансформанти відносно визначення основ або тільки за діапазоном рядка чи тільки за діапазоном стовбцю дозволяє виявляти структурні обмеження на динамічні діапазоні окремих компонент більш адаптивне до особливостей трансформант ДКП. Звідки створюються умови для скорочення кількості $\Delta R(E)_j$ залишкової надмірності на рівні формування кодових значень нерівноважних позиційних чисел (НРПЧ).

2. Другий аспект методології розробляється для створення умов, в яких забезпечується перевага реверсного кодування НРП чисел в режимі розподілу вагових коефіцієнтів за молодшими елементами відносно режиму розподілу ваги за старшими елементами.

В цьому напрямку пропонується створити *модифікацію НРП-систем щодо удосконалення правила лексикографії*.

Тут можливі наступні підходи.

2.1. Перший підхід щодо модифікації полягає у використанні *зворотної односторонньої* лексикографії.

У разі *зворотної* лексикографії в умовах збереження старшинства за першими елементами позиційних чисел (тобто чим старше елемент то відповідно він матиме найбільшу вагу) правило буде описуватися наступним чином. Порядок індексування в робочому діапазоні визначається відносно максимального рівня. З двох позиційних чисел A'_j та A'_u старшим є те число, у якого старший елемент має більше значення. Отже, якщо для елементів з індексами $i = \overline{1, \tau-1}$ виконується рівняння, тобто: $a'_{i,j} = a'_{i,u}$, а для елементів $a'_{\tau,j}$ і $a'_{\tau,u}$ навпаки виконується нерівність, а саме: $a'_{\tau,j} < a'_{\tau,u}$, то індекс E'_j позиційного числа A'_j в допустимій множині у разі *зворотної* лексикографії буде більшим, ніж індекс E'_u числа A'_u , тобто: $E'_j > E'_u$.

В цьому випадку в допустимій позиційній множині число A'_u буде молодшим відносно числа A'_j , тобто A'_u переважає послідовності A'_j .

Наприклад, Припустимо, що основа для τ -го елемента ПЧ дорівнюватиме $g_\tau = 17$. Тоді з двох позиційних чисел

$A'_j = \{1; 3; a'_{\tau,j} = g_\tau - a_{\tau,j} = 12; a'_{\tau+1,j}; \dots; a'_{m,j}\}$ та $A'_u = \{1; 3; a'_{\tau,u} = g_\tau - a_{\tau,u} = 2; a'_{\tau+1,u}; \dots; a'_{m,u}\}$, у разі зворотної лексикографії менший індекс буде мати число A'_u , тобто $a_{\tau,j} = 5 < a_{\tau,u} = 13$ але $E'_j > E'_u$.

Однак в цьому випадку навпаки можуть виникати ситуації, коли різниця між значеннями основи g_τ та відповідного елемента $a_{\tau,j}$ НРПЧ буде зростати, тобто:

будуть формуватися такі основи g_τ , значення яких є занадто збільшеними щодо значень $a_{\tau,j}$ відповідних елементів НРПЧ, тобто:

$$a'_{\tau,j} = g_{\tau,j} - a_{\tau,j} \rightarrow g_{\tau,j} - 1 \quad (1)$$

Приклад індексації значень $a_{\tau,j}$ елементів НРПЧ в τ -му робочому діапазоні за зворотнім правилом лексикографії так, що виконується умова (1), наведено на рис. 1.

Така ситуація можлива у випадку:

– обробки високочастотних компонент трансформованих відеосегментів в умовах загального визначення системи динамічних діапазонів (системи основ НРП базису) для всієї трансформанти;

– відеосегменти містять в собі області різні за яскравим або кольоровим контрастом.

В свою чергу це призводить до того, що кодове значення E'_j в умовах зворотної лексикографії буде наближатися до максимально допустимої величини, а саме $E'_j \rightarrow \prod_{i=1}^m g_i - 1$. Тому для виключення виявлених суперечних ситуацій *пропонується* створити таке правило лексикографії, для якого забезпечується адаптація до структурно-статистичних особливостей масивів даних, що обробляються.

Розглянемо *другий варіант модифікації правила лексикографії* щодо індексації значень елементів НРПЧ в межах відповідних робочих діапазонів.

Для модифікації правила лексикографії в системах НРП-кодування *пропонується* враховувати на кожному кроці відому інформацію щодо відхилень значень попередніх (раніше оброблених) елементів відносно відповідних основ. В цьому випадку забезпечується врахування

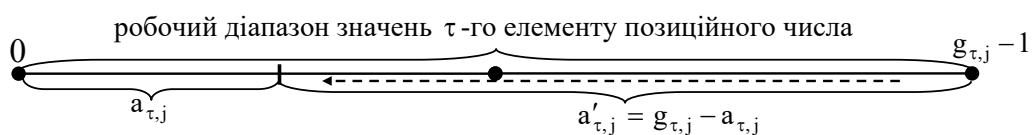


Рис. 1. Схема індексації значень елементів ПЧ відносно максимального рівня робочого діапазону для зворотного правила лексикографії

локальних структурно-статистичних закономірностей, а саме:

- у разі обробки сегментів відеоданих, що містять області двох та більше типів. Наприклад, на фоні когерентної області розмішені деталі або самі об'єкти; накладення декількох об'єктів один на одного; сегменти відеозображень, що містять в собі текстурні області;

- відеосегментів в спектральному або спектрально-часовому просторах, які містять області різних частот та відповідно нерівномірні значення динамічних діапазонів робочих інтервалів.

Для визначення ступеня поточного відхилення між значеннями основи $g_{\tau-1}$ та відповідного елементу $a_{\tau-1,j}$ пропонується оцінювати їх різницю на попередньому $(\tau-1)$ -му кроці реверсного кодування. Тоді рішенням правило P буде задаватись наступним співвідношенням:

$$P: a_{\tau-1,j} > \frac{g_{\tau-1}}{2}. \quad (2)$$

Звідки можливі два варіанти, а саме, коли: виконується нерівність $a_{\tau-1,j} > g_{\tau-1}/2$; буде вірно те, що $a_{\tau-1,j} \leq g_{\tau-1}/2$.

В першому випадку приймається прогнозне рішення відносно того, що значення елементу $a_{\tau,j}$ на τ -му кроці реверсного кодування наближається до величини основи g_{τ} . В цьому випадку пропонується застосовувати зворотне правило лексикографії. Навпаки для другого випадку прогнозний тренд вказує на те, що

значення $a_{\tau,j}$ для τ -го елементу буде наближатися до нульового рівня відповідного робочого діапазону. Тут пропонується індексування значень елементу в робочому інтервалі здійснювати за прямою лексикографією.

Отже пропонується організовувати двонаправлену лексикографію в залежності від аналізу величини відхилення значень елементу та відповідної основи на попередньому кроці процесу реверсного кодування. В цьому випадку створюються умови для адаптації напрямку лексикографії, а саме напрямку індексування значень елементів НРПЧ в робочому діапазоні до локальних структурно-статистичних закономірностей масивів, що обробляються.

Висновки. Таким чином, можна стверджувати те, що створена методологія модифікації нерівноважної позиційної системи, яка базується на таких аспектах: формувати двовимірний нерівноважний позиційний базис на основі одночасного врахування структурних закономірностей за двома напрямками (рядків та стовбців). Тут усувається дисбаланс в процесі побудови системи основ в НВП-базисі за рахунок додаткової локалізації значень динамічних діапазонів; створення адаптивної двонаправленої лексикографії з врахуванням локальних структурно-статистичних закономірностей масивів, що обробляються шляхом аналізу величини відхилення значень елементу та відповідної основи на попередньому кроці процесу реверсного кодування.

Список літератури:

1. Eli Dworetzky, PictureEdgar Kaziakhmedov, PictureJessica Fridrich. Advancing the JPEG Compatibility Attack: Theory, Performance, Robustness, and Practice. Proceedings of the 2023 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security. 2023. P. 67–79. URL: <https://doi.org/10.1145/3577163.3595090>.
2. A. Krasnorutsky, *et al.* "Integration of Video Image Decryption Coding into a Remote Video Information Service," 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2023. P. 1–6, DOI: 10.1109/AICT61584.2023.10452679.
3. Omar H. M., Morsli M., Yaichi S. Image Compression using Principal Component Analysis. Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Mathematics and Information Technology (ICMIT). 2020. P. 226–231. DOI: 10.1109/ICMIT47780.2020.9047014.
4. Barannik, V. *et al.* (2023). 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. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
5. Dahyun Kang, Piotr Koniusz, Minsu Cho, Naila Murray. Distilling Self-Supervised Vision Transformers for Weakly-Supervised Few-Shot Classification & Segmentation. 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2023. P. 19627–19638. DOI: Bookmark: 10.1109/CVPR52729.2023.01880.
6. Garg G., Kumar R. Analysis of image types, compression techniques and performance assessment metrics: A review. Journal of Information and Optimization Sciences. 2022. Vol. 43, No. 3. P. 429–436. DOI: 10.1080/02522667.2022.2037282.
7. Цімура Ю., Костромицький А., Суханов О., Думич С. Метод кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі / Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2024. Випуск 4 (1). С. 61–69. DOI: 10.23939/ict2024.01.061.

8. Benjamin Bross, Ye-Kui Wang, Yan Ye, Shan Liu, Jianle Chen, Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm. Overview of the versatile video coding (VVC) standard and its applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. Vol. 31 (Issue 10). P. 3736–3764, Oct. 2021. DOI: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.
9. Shah T. J., Banday M. T. A Review of Contemporary Image Compression Techniques and Standards. *Examining Fractal Image Processing and Analysis* / eds. Nayak S. R., Mishra J. Hershey, PA : IGI Global, 2020. P. 121–157. DOI: 10.4018/978-1-7998-0066-8.ch006.
10. Uthayakumar J., Elhoseny M., Shankar K. Highly Reliable and Low-Complexity Image Compression Scheme Using Neighborhood Correlation Sequence Algorithm in WSN. *IEEE Transactions on Reliability*. 2020. Vol. 69, No. 4. P. 1398–1423. DOI: 10.1109/TR.2020.2972567.
11. Barannik, V. *et al.* (2023). 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. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
12. Barannik V. *et al.*: Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25–27, 2020). Kyiv, 2020. P. 52-56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.

Barannik V.V. METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR IMPROVING THE SYSTEM OF NONEQUILIBRIUM POSITIONAL VIDEO DATA ENCODING IN INFOCOMMUNICATION SYSTEMS

The article substantiates that an important direction for improving the quality of video information services is the enhancement of technologies and methods for video data compression. Currently, several video compression methods have been developed. It is proven that most widely tested and practically applied methods share a typical drawback: achieving the required practical compression rates is only possible at the cost of losing the visual quality (integrity) of the video data. It is shown that this results from overly aggressive elimination of psychovisual redundancy. The article argues that two promising directions exist: developing methods that allow for adjusting parameters in the psychovisual model; and improving redundancy elimination technologies based on the identification of structural-positional features of video data. It is shown that the first approach has certain limitations when processing high-density aerial monitoring video images. Therefore, it is concluded that developing the second direction of compression methods is more crucial. It is substantiated that a technological solution for the structural approach to video data compression is the method of Nonequilibrium Positional (NQP) encoding. However, it is demonstrated that such methods have specific shortcomings, primarily related to the influence of the bases of lower-order NQP number elements on the process of determining the weights of higher-order elements. It is shown that the weight of the higher-order elements plays a defining role in the length of the code description. Hence, it is substantiated that further improvement of structural-class methods involves developing approaches to eliminate the deficiencies of NQP encoding technologies. The article presents the development of a methodology for modifying the Nonequilibrium Positional system based on the following aspects: the formation of a two-dimensional Nonequilibrium Positional basis by simultaneously accounting for structural patterns in two directions; the creation of an adaptive bi-directional lexicographic model that considers local structural-statistical patterns of processed arrays by analyzing the deviation values of elements and their corresponding bases at the previous step of the reverse encoding process.

Key words: infocommunications, unmanned platforms, video data, compression, nonequilibrium encoding.