



МЕТОД ДВОНАПРАВЛЕНОЇ ЛЕКСИКОГРАФІЇ ДЛЯ НЕРІВНОВАЖНОГО ПОЗИЦІЙНОГО КОДУВАННЯ ВІДЕОДІЛЯНОК

В. Бараннік [ORCID: 0000-0003-3516-5553]

Харківський національний університет радіоелектроніки, проспект Науки, 14, Харків, 61166, Україна

Відповідальний за рукопис: Валерій Бараннік (e-mail: vvbar.off@gmail.com).

(Подано 13 лютого 2025)

Показано, що у випадку залучення безпілотних платформ для збирання відеоінформації про-являється дисбаланс між продуктивністю бездротових інфокомунікацій та рівнем інтенсивності інформаційних потоків, які необхідно обробляти та передавати. В загальному випадку для забезпечення потрібного рівня характеристик відеоданих в умовах наявності означеного дисбалансу необхідні: підвищення продуктивності ІКС; збільшення ефективності систем стиснення відеоданих та забезпечення завадостійкості. Уже розроблено деяка кількість методів стиснення відеоданих. За функціональним призначенням їх можна поділити на два класи залежно від застосування технологій управління параметрами моделей виявлення та зменшення психо-візуальної надмірності. Обґрунтовано, що загальним критичним фактором методів першого класу є підвищення рівня втрат інформації, якщо необхідно досягти практичного рівня стиснення для інформативних ділянок відеоданих. Зменшити вплив такого критичного фактора на ефективність методів стиснення дає змогу розвиток методів другого класу. До такого класу належать структурно-позиційний або статистично-позиційний методи усунення надмірності. Одним з основних представників методів структурно-позиційного кодування є технології позиційного кодування мінливою вагою (НРП-кодування). Такі методи надають можливість адаптування до змісту ділянок відеоданих за структурно-позиційними характеристиками. У такому разі незалежно від напрямку кодування вага старших елементів НРП-числа залежить від основ елементів на молодших позиціях. Це зумовлює збільшення ваги елементів під час кодування. Критичний рівень проявлятиметься у разі неадекватного вибору напрямку кодування згідно з особливостями структурування ділянок відеоданих за інтервалом (діапазоном) розмаху допустимих значень. Тому запропоновано розробити адаптивніший варіант, який ґрунтується на стратегії застосування для НРП-кодування двонаправленої лексикографії. В статті викладено основні етапи створення двонаправленої лексикографії на основі адаптивного вибору напрямку індексації значень елементів у робочому діапазоні НРП-базису.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні системи, безпілотні платформи, відеозображення, стиснення, нерівноважне кодування, позиційний базис.

УДК: 621.126

Вступ

Сучасний стан розвитку інформаційно-інтелектуальних технологій, моделей штучного інтелекту створює потенціал для реалізації окремих функцій аналізу інформаційних потоків у автономному режимі [1]. Це стосується загальних прикладних та критичних застосувань, наприклад, виконання процесів аналізу та прийняття рішень в інтересах критичної інфраструктури.

Важливим напрямом залучення технологій штучного інтелекту (ТШІ) є застосування для опрацювання та аналізу відеоінформаційної продукції. Для підвищення ефективності функціонування ТШІ до систем надання відеопроодукції ставлять певні вимоги. Вони в загальному випадку залежать від конкретного прикладного застосування та стосуються, зокрема [2; 3]: часових вимог щодо доставки відеоінформації із використанням наявних інформаційно-комунікаційних систем (ІКС); якості візуальної оцінки відеопроодукції (цілісність); характеристик просторової здатності, які визначають рівень повноти відеоданих; можливості відновлювати відеоінформацію в умовах каналних помилок та втрати пакетів даних під час передавання в ІКС [4; 5].

Останнім часом збільшується сектор прикладних галузей, які використовують безпроводовий сегмент інформаційно-комунікаційних систем (БІКС). Найзатребуванішими прикладами є залучення безпілотних платформ (БПЛ) для збирання відеоінформаційних даних [5; 6]. Таким прикладним застосуванням притаманний значний рівень критичності за вимогами до систем надання відеоданих [7; 8]. Водночас саме в цьому випадку найбільшою мірою проявляється дисбаланс між продуктивністю БІКС та рівнем інтенсивності інформаційних потоків, які необхідно обробляти та передавати [9; 10]. На збільшення означеного дисбалансу впливають такі фактори, як [11; 12]: складна заводська обстановка під час передавання даних; обмежені можливості щодо збільшення швидкості передавання даних для бортових комплексів; обмеженість енергетичного ресурсу БП.

2. Аналіз та постановка задачі

В загальному випадку для забезпечення потрібного рівня характеристик відеоданих в умовах наявності означеного дисбалансу необхідні [13; 14]: підвищення продуктивності ІКС; збільшення ефективності систем компресійного кодування (стиснення) відеоданих та забезпечення заводостійкості. В загальному випадку потрібно надавати певну увагу обом означеним напрямам, які є взаємодоповнюваними. Отже, розглянемо напрям, який стосується подальшого розвитку методів кодування відеоданих для їх стиснення [15; 16].

Уже розроблено певну кількість методів стиснення відеоданих [17; 18]. За функціональним призначенням їх можна поділити на два класи.

До першого класу належать методи, що використовують технології управління параметрами моделей виявлення та зменшення кількості психовізуальної надмірності [19; 20]. Таке управління враховує перелік факторів, до основних з яких зараховано: наявність обмежень на час опрацювання та рівень цілісності; рівень інформативності ділянок відеоданих. У загальному випадку технології управління створюють із використанням методів інтелектуального аналізу та моделей штучного інтелекту [21; 22].

Методи цього класу досліджено в роботах [23; 24]. Потрібно зазначити, що загальним критичним фактором таких методів є підвищення рівня втрат інформації, якщо необхідно досягти практичного рівня стиснення для інформативних ділянок відеоданих. Існує межа рівня стиснення, після якої означена залежність набуде вигляду показників. Це зумовлено занадто критичним усуненням кількості психовізуальної надлишковості.

Зменшити вплив такого критичного фактора на ефективність методів стиснення можливо, розвиваючи методи другого класу, до якого належать структурно-позиційний або статистично-позиційний методи усунення кількості надмірності [25; 26]. На відміну від методів першого класу, не враховано модель навчання щодо встановлення психовізуальних властивостей відеоданих. Звідси методи другого класу є вагомим доповненням щодо технологій першого класу. Тому запропоновано розглянути напрями подальшого розвитку методів стиснення на основі зменшення структурно-позиційної надмірності.

Звідси актуальним є *науково-прикладне завдання*, що стосується подальшого розвитку технологій стиснення на основі структурно-позиційного стиснення.

Одним із основних представників методів структурно-позиційного кодування є технології позиційного кодування мінливою вагою (НРП-кодування) [27; 28]. Такі методи надають можливість адаптування до змісту ділянок відеоданих за структурно-позиційними характеристиками [29; 30], а також урахування технік непрямого усунення кількості психовізуальної надмірності. Для НРП-кодування приймають, що: індексація елементів у позиційному числі відбувається в напрямку зліва направо, $A_j = \{a_{1,j}; \dots; a_{i,j}; \dots; a_{m,j}\}$; старшими елементами позиційного числа є елементи з найменшими індексами, натомість молодші елементи мають найбільші значення індексів.

У цьому випадку незалежно від напрямку кодування існує залежність ваги старших елементів НРП-числа від основ елементів на молодших позиціях. Це зумовлює збільшення ваги елементів під час кодування. Критичний рівень проявлятиметься у разі неадекватного вибору напрямку кодування згідно з особливостями структурування ділянок відеоданих за інтервалом (діапазоном) розмаху допустимих значень. Наслідком є збільшення бітового об'єму на кодове значення НРП-числа. Отже, можна зробити висновок, що ефективність НРП-кодування залежатиме від напрямку індексації значень елементів у робочих діапазонах (лексикографія). Сьогодні використовується одностороння стратегія визначення лексикографічних правил. Тому запропоновано розробити адаптивніший варіант, оснований на стратегії застосування для НРП-кодування двонаправленої лексикографії.

Отже, мета досліджень статті стосується створення методу двонаправленої лексикографії для нерівноважного позиційного кодування.

3. Розроблення двонаправленої лексикографії для нерівноважного позиційного кодування

Для модифікації правила лексикографії в системах нерівноважного позиційного кодування **пропонуємо** враховувати на кожному кроці наявні відомості щодо особливостей змісту відеоділянок. Такими відомостями є відома інформація щодо відхилень значень для попередньо оброблених елементів відносно відповідних основ. У такому разі забезпечується врахування локально-ділянкових структурно-позиційних особливостей. До них належать:

- у разі кодування відеоділянок, що містять області двох та більше структурно-змістовних типів;
- відеоділянки в спектральному просторі, які містять послідовності змінної частоти, що призводить до утворення нерівномірних значень інтервалу розмаху робочих діапазонів.

Для визначення ступеня поточного відхилення між значеннями основи g_{t-1} та відповідного елемента $a_{t-1,j}$ запропоновано оцінювати їх різницю на попередньому $(t - 1)$ -му кроці реверсного кодування. Відповідне вирішувальне правило Pr описується виразом:

$$Pr: a_{t-1,j} > \frac{1}{2} \times g_{t-1}. \quad (1)$$

Проаналізувавши цей вираз, можна зробити висновок щодо наявності двох наслідків. Вони стосуються того, що:

- для першого – досягається умова:

$$a_{t-1,j} > \frac{1}{2} \times g_{t-1};$$

- для другого – забезпечується нерівність:

$$a_{t-1,j} \leq \frac{1}{2} \times g_{t-1}.$$

Отже, маємо характерну тенденцію: значення t -го елементу $a_{t,j}$ наблизатиметься до нульового рівня. В цьому разі під час кодування запропоновано індексування значень елементів нерівноважного позиційного числа здійснювати за прямою лексикографією.

Звідси загалом запропоновано організувати двовекторну лексикографію за напрямом залежно від аналізу відхилення значень елемента та відповідної основи, що здійснюватиметься на попередньому кроці реверсного НРП-кодування. Тоді будуть забезпечуватись умови для налаштування вектора лексикографії, тобто напрямку стратегії індексування елементів НРП-числа в функціональному діапазоні до локально-ділянкових структурно-позиційних особливостей відповідних сукупностей даних (масивів даних).

Надалі будемо враховувати, що порядок старшинства визначається за реверсним розподілом вагових коефіцієнтів у напрямі молодших елементів. Старші елементи позиційного числа матимуть меншу вагу, ніж молодші елементи, тобто:

$$W_{t,j} \in W_{x,j}, \text{ якщо } t < x.$$

Суть двонаправленої індексації значень елементів ПЧ у відповідному динамічному діапазоні відображено на рис. 1.

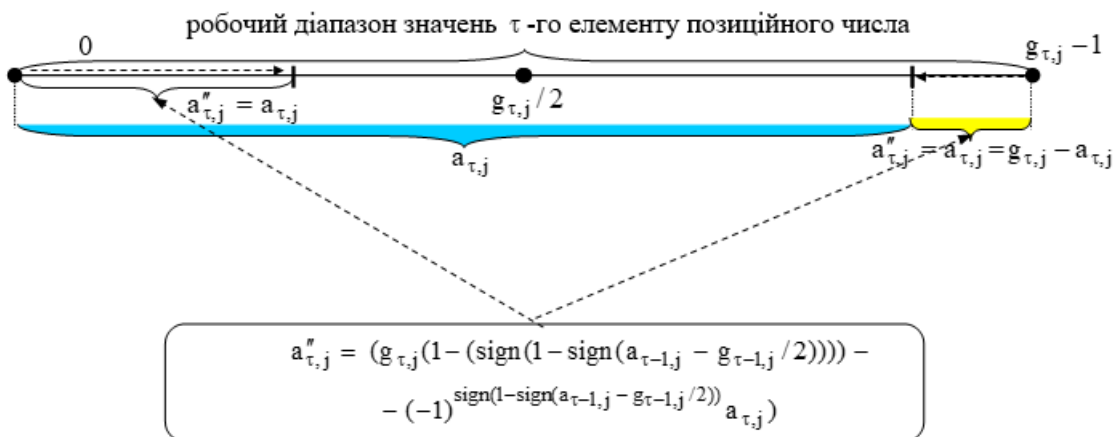


Рис. 1. Схема двонаправленої індексації значень елементів ПЧ у робочому діапазоні

Запропоновано застосовувати два напрями індексації значень елементів ПЧ, а саме: перший – відносно нульового рівня; другий – стосовно максимального рівня. Вибір напрямку індексації в кожному окремому випадку залежить від ступеня близькості значення елемента до відповідної межі (або мінімальної – “0”, або найбільшої – “ $g_{t,j}$ ”). Для перевірки ступеня близькості **запропоновано** використовувати показник, що задають такою нерівністю відносно попереднього елемента:

$$a_{t-1,j} \in g_{t-1,j} / 2.$$

Тоді, якщо $a_{t-1,j} \in g_{t-1,j} / 2$, то $a_{t,j}^{\Phi} = a_{t,j}$, та навпаки, коли $a_{t-1,j} > g_{t-1,j} / 2$, то $a_{t,j}^{\Phi} = a_{t,j}^{\Phi} = g_{t,j} - a_{t,j}$.

Для узагальнення таких залежностей **пропонуємо** застосовувати такий вираз:

$$a_{t,j}^{\Phi} = (g_{t,j}(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2)))) - (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2))} a_{t,j})$$

У цьому випадку, враховуючи, що:

$$(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2)))) = \begin{cases} 0, & \textcircled{R} \ a_{t-1,j} \leq g_{t-1,j}/2; \\ 1, & \textcircled{R} \ a_{t-1,j} > g_{t-1,j}/2; \end{cases}$$

$$(-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2))} = \begin{cases} -1, & \textcircled{R} \ a_{t-1,j} \leq g_{t-1,j}/2; \\ 1, & \textcircled{R} \ a_{t-1,j} > g_{t-1,j}/2 \end{cases}$$

отримаємо таке співвідношення:

$$a_{t,j}^{\textcircled{C}} = \begin{cases} a_{t,j}, & \textcircled{R} \ a_{t-1,j} \leq g_{t-1,j}/2; \\ g_{t,j} - a_{t,j}, & \textcircled{R} \ a_{t-1,j} > g_{t-1,j}/2. \end{cases}$$

Тоді правило **двонаправленої лексикографії** в реверсному порядку розподілу вагових коефіцієнтів за молодшими елементами задається такими принципами:

1) старшими елементами в позиційному числі є молодші його елементи. У такому разі що молодший елемент, то більшу вагу він матиме;

2) найбільшу вагу мають молодші елементи ПЧ;

3) елементи ПЧ можуть розглядатись у двох напрямках індексації їх робочих діапазонів.

У цьому випадку правило лексикографії описується так.

З двох позиційних чисел $\overset{\circ}{A}_j^{\textcircled{C}}$ та $\overset{\circ}{A}_u^{\textcircled{C}}$ у двовимірному базисі, які мають відповідно системи основ G_j та G_u , старшим (тобто таким, що має більший індекс в допустимій множині) є те число, у якого елемент з більшою вагою має більше значення відносно відповідного елемента з такою самою вагою іншого ПЧ.

Отже, для реверсного порядку розподілу вагових коефіцієнтів у напрямі молодших елементів, якщо для елементів з індексами $i = \overline{t+1, m}$ виконуються такі рівняння:

$$a_{i,j}^{\textcircled{C}} = a_{i,u}^{\textcircled{C}},$$

а для елементів $a_{t,j}^{\textcircled{C}}$ та $a_{t,u}^{\textcircled{C}}$, навпаки, виконується нерівність, а саме:

$$a_{t,j}^{\textcircled{C}} < a_{t,u}^{\textcircled{C}},$$

або в загальному випадку, враховуючи умову переходу між напрямками індексації робочих діапазонів окремих елементів ПЧ:

$$a_{t,j} < a_{t,u}, \text{ якщо } t = 1;$$

$$(g_{t,j}(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2)))) - (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2))} a_{t,j}) < \\ < (g_{t,u}(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,u} - g_{t-1,u}/2)))) - (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,u} - g_{t-1,u}/2))} a_{t,u}), \text{ якщо } t = \overline{2, m},$$

то індекс $E_j^{\mathbb{C}}$ позиційного числа $\overset{\circ}{A}_j^{\mathbb{C}}$ в допустимій множині двовимірному позиційного простору в разі *двонаправленої* лексикографії буде меншим, ніж індекс $E_u^{\mathbb{C}}$ числа $\overset{\circ}{A}_u^{\mathbb{C}}$, тобто:

$$E_j^{\mathbb{C}} < E_u^{\mathbb{C}}.$$

У цьому випадку в допустимій позиційній множині число $\overset{\circ}{A}_j^{\mathbb{C}}$ буде старшим відносно числа $\overset{\circ}{A}_u^{\mathbb{C}}$, тобто $\overset{\circ}{A}_j^{\mathbb{C}}$ передуює послідовності $\overset{\circ}{A}_u^{\mathbb{C}}$.

Тут для $t = \overline{2, m}$ використано такі позначення :

$$a_{t,j}^{\mathbb{C}} = (g_{t,j}(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2)))) - (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2))} a_{t,j})$$

$$a_{t,u}^{\mathbb{C}} = (g_{t,u}(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,u} - g_{t-1,u}/2)))) - (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,u} - g_{t-1,u}/2))} a_{t,u})$$

Наприклад, із двох позиційних чисел $\overset{\circ}{A}_j^{\mathbb{C}} = \{1; 3; a_{t,j}^{\mathbb{C}} = 5; a_{t-1,j}^{\mathbb{C}}; \dots; a_{1,j}^{\mathbb{C}}\}$ та $\overset{\circ}{A}_u^{\mathbb{C}} = \{1; 3; a_{t,u}^{\mathbb{C}} = 13; a_{t-1,u}^{\mathbb{C}}; \dots; a_{1,u}^{\mathbb{C}}\}$ у реверсному порядку розподілу вагових коефіцієнтів за молодшими елементами, у разі двонаправленої лексикографії менший індекс матиме число $\overset{\circ}{A}_j^{\mathbb{C}}$, тобто $a_{t,j}^{\mathbb{C}} = 5 < a_{t,u}^{\mathbb{C}} = 13$ та $E_j^{\mathbb{C}} < E_u^{\mathbb{C}}$. Потрібно враховувати, що в загальному випадку розподіл напрямів лексикографії між елементами окремих ПЧ у двовимірному мультиадичному просторі може бути невідповідним. Тобто елементи $a_{t,j}^{\mathbb{C}}$ і $a_{t,u}^{\mathbb{C}}$ можуть індексуватися в робочих діапазонах з різним лексикографічним напрямом.

З урахуванням правила (1) можна стверджувати, що в загальному випадку виконується співвідношення між поточним елементом $a_{t,j}$ у стандартному режимі його індексації в робочому діапазоні та елементом $a_{t,j}^{\mathbb{C}}$ в адаптивному двонаправленому режимі індексування, а саме:

$$a_{t,j}^{\mathbb{C}} = (g_{t,j}(1 - (\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2)))) - (-1)^{\text{sign}(1 - \text{sign}(a_{t-1,j} - g_{t-1,j}/2))} a_{t,j}) \in a_{t,j} \quad (2)$$

Звідси випливає, що для двонаправленої лексикографії відносно однонаправленої забезпечується зменшення кодового значення $E_j^{\mathbb{C}}$ НВП-числа, тобто:

$$E_j^{\mathbb{C}} \in E_j.$$

З урахуванням цього відповідно до виразу:

$$DR(V)_j = [\overset{m}{\underset{i=1}{a}} \log_2 g_i] - [\log_2 E_j] \text{ (біт)},$$

створюються умови для зменшення кількості $DR(V)_j$ залишкової надмірності на рівні формування кодограм у НРП-базисі.

Висновки

Можна зробити такі висновки:

- 1) створено двонаправлену лексикографію на основі адаптивного вибору напряму індексації значень елементів у робочому діапазоні НРП-базису;
- 2) забезпечено:
 - адаптацію реверсного кодування до локальних структурно-статистичних закономірностей опрацьовуваних масивів за рахунок прогнозу їх тренду за аналізом відхилення значень елементів від відповідної основи на попередньому кроці процесу кодування;
 - зменшення кодового значення НРП-числа та створення умов для зменшення кількості залишкової кодової надмірності на рівні формування кодограми.

Наукова новизна

Вперше створено правило лексикографії в нерівноважній позиційній системі на основі урахування локальних структурно-позиційних закономірностей. Відмінності правила полягають у тому, що здійснюється адаптивний вибір напряму індексації значень елементів у робочому діапазоні НРП-базису. Це дає змогу знизити кодове значення НРП-числа та створити умови для зменшення кількості залишкової кодової надмірності на рівні формування кодограми.

Список використаних літературних джерел

- [1] T. Naga Lakshmi and S. Jyothi, "Performing Image Compression and Decompression Using Matrix Substitution Technique", in *Advances in Computational and Bio-Engineering. CBE 2019. Learning and Analytics in Intelligent Systems*, Vol. 15, S. Jyothi, D. Mamatha, S. Satapathy, K. Raju and M. Favorskaya, Eds. Cham: Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-46939-9_3.
- [2] Бараннік, Д. В., Гуржій, П. М., Бараннік, В. В., Сідченко, С. О., Чорномаз, І. К., and Григор'ян, М. Б. (2023). "Saving Elements Methods for Service Components of Images Cryptocompression Codograms", *Visnyk NTUU KPI. Seriya – Radiotekhnika Radioaparatabuduvannia*, 92, pp. 28–40. DOI: 10.20535/RADAP.2023.92.28-40.
- [3] A. Qasim, R. Din and F. Q. A. Alyousuf, "Review on techniques and file formats of image compression", *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, Vol. 9, No. 2, pp. 602–610, 2020. DOI: 10.11591/eei.v9i2.2085.
- [4] Цімура Ю., Костромицький А., Суханов О., Думич С. Метод кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. 2024. Вип. 4 (1). С. 61–69. DOI: 10.23939/ictee2024.01.061.
- [5] Barannik V. et al. Model for Representing Significant Segments of a Video Image Based on Locally Positional Coding on a Structural Basis. *Smart and Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IEEE IDAACS-SWS 2020): proceedings of IEEE 5nd International Symposium*, 2020, pp. 1–5. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS50031.2020.9297068.
- [6] 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.
- [7] Barannik V. et al. Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020): proceedings of 15th IEEE International Conference*, 2020, pp. 699–702. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.
- [8] Власов А. В., Власов А. В., Сидченко С. А. Обоснование значимых угроз безопасности видеoinформационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления. *Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте*. 2014. № 3. С. 24–31.
- [9] Tarasenko, D., Kulitsa, O., Barannik, D., Barannik, V. V., Podlesny, S. The video stream encoding method in infocommunication systems. *IEEE 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (IEEE TCSET 2018)*, 2018, pp. 538–541. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336259.

- [10] 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. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
- [11] Ibrahim D. R., The J S., Abdullah R. (2021). An overview of visual cryptography techniques. *Multimed Tools Appl* 80, 31927–31952. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11229-9>
- [12] Yuan Liu, Songyang Zhang, Jiacheng Chen, Zhaohui Yu, Kai Chen, Dahua Lin (2023). Improving Pixel-based MIM by Reducing Wasted Modeling Capability. 2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 5338–5349. DOI: Bookmark: 10.1109/ICCV51070.2023.00494.
- [13] Chen, C.-C., Lin, C.-S., Chen, J.-Z. (2022). Boolean-Based (k, n, m) Multi-Secret Image Sharing. *Axioms*, 11, 197. DOI: <https://doi.org/10.3390/axioms11050197>
- [14] Barannik V. et al. “Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource”, 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 52–56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [15] Alsafyani M., Alhomayani F., Alsuwat H., Alsuwat E. Face Image Encryption Based on Feature with Optimization Using Secure Crypto General Adversarial Neural Network and Optical Chaotic Map. *Sensors*. 2023; 23(3):1415. <https://doi.org/10.3390/s23031415>
- [16] V. Barannik, A. Krasnorutsky, Y. Ryabukha, R. Onyshchenko, S. Shulgin and O. Slobodyanyuk, “Marker Information Coding for Structural Clustering of Spectral Space”, 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2021, pp. 46–51. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678538.
- [17] Xu, Daihan et al. “Design of artificial intelligence image encryption algorithm based on hyperchaos”. *Ain Shams Engineering Journal* (2022): n. pag.
- [18] Gadhiya N., Tailor S., Degadwala S. (2024). A Review on Different Level Data Encryption through a Compression Techniques. 2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Lalitpur, Nepal, pp. 1378–1381. DOI: 10.1109/ICICT60155.2024.10544803.
- [19] 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*, 2012, pp. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484.
- [20] Matel I.-E. (2024). Novel Lossless Crypto-Compression Scheme for Medical Images. 2024 26th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC), Timisoara, Romania, pp. 378–385. DOI: 10.1109/SYNASC65383.2024.00069.
- [21] Yuanlin C., Tianxiu L., Caiwen C., Yi X. A novel image encryption method based on improved two-dimensional logistic mapping and DNA computing. *Advances in Nonlinear Systems and Networks*, 2024, Vol. III. DOI: 10.3389/fphy.2024.1469418.
- [22] Hamano G., Imaizumi S., Kiya H. (2023). Effects of JPEG Compression on Vision Transformer Image Classification for Encryption-then-Compression Images. *Sensors*, 23, 3400. <https://doi.org/10.3390/s23073400>
- [23] Alqahtani, F. (2024). Ai-powered image security: utilizing autoencoders for advanced medical image encryption. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 141(2), 1709–1724. <https://doi.org/10.32604/cmcs.2024.054976>
- [24] Shoko Imaizumi, Genki Hamano, Hitoshi Kiya. Effects of JPEG Compression on Vision Transformer Image Classification for Encryption-then-Compression Images. *Sensors*, Vol. 23, pp. 1–19, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23073400>.
- [25] Barannik V. et al., “Method of coding dynamic sequence of frame-spline structures of provided frames in info-communications”, 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 36–40. DOI: 10.1109/AICT52120.2021.9628928.
- [26] Fatima R., Baheer K., May A. Survey Study Image Cryptography System. *BIO Web Conf*, Vol. 97, 2024. DOI: 10.1051/bioconf/20249700044.
- [27] Barannik V. et al. Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 4. pp. 119–131, 2021. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
- [28] V. Barannik, O. Slobodyanyuk, A. Krasnorutsky, A. Korchenko, S. Pchelnykov, “Aerial Photographs for Ensuring Cyber Security of Critical Infrastructure Objects” 2021 Proceedings of Selected Papers of the Workshop on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems (CPITS 2021), Kyiv, Ukraine, pp. 182–191.
- [29] Xiaowu L., Huiling P. Chaotic medical image encryption method using attention mechanism fusion ResNet model. *Front Neurosci*, 2023. DOI: 10.3389/fnins.2023.1226154.

- [30] Bhat, R., & Nanjundegowda, R. (2024). CryptoGAN: a new frontier in generative adversarial network-driven image encryption. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 13(4), 4813–4821. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijai.v13.i4.pp4813-4821>.

METHOD OF BI-DIRECTIONAL LEXICOGRAPHY FOR NONEQUILIBRIUM POSITIONAL ENCODING OF VIDEO SEGMENTS

Valeriy Barannik

Kharkiv National University of Radio Electronics, 14, Nauky Avenue, Kharkiv, 61166, Ukraine

The article demonstrates that when unmanned platforms are used to collect video information, a disparity arises between the performance of wireless infocommunication systems and the intensity level of the information streams that must be processed and transmitted. In general, to maintain the required quality of video data under such a disparity, the following measures are necessary: increasing the performance of infocommunication systems (ICS); improving the efficiency of video data compression systems; and ensuring robustness against interference. Currently, a number of video compression methods have been developed. Functionally, they can be divided into two classes depending on the use of parameter control technologies within models that detect and reduce psychovisual redundancy. It is argued that the critical limitation of the first class of methods is the increase in information loss when practical compression levels must be achieved for information-rich areas of video data. The impact of this limitation on compression efficiency can be mitigated by developing methods from the second class. This class includes methods that eliminate redundancy of a structural-positional or statistical-positional nature. One of the main representatives of structural-positional encoding methods is the variable-weight positional encoding technology, also known as Nonequilibrium Positional (NQP) encoding. These methods are capable of adapting to the content of video segments based on their structural and positional characteristics. In this case, regardless of the encoding direction, there exists a dependency between the weight of higher-order NQP-number elements and the bases of lower-order elements. This leads to an increase in the weight of elements during encoding. A critical threshold arises if the encoding direction is chosen inappropriately, considering the structural characteristics of the video segments within the range of permissible values. Therefore, it is proposed to develop a more adaptive version based on a strategy of using bi-directional lexicography during NQP encoding. The article outlines the main stages for creating such bi-directional lexicography based on adaptive selection of the indexing direction of element values within the operational range of the NQP basis.

Keywords: *information and communication systems, unmanned platforms, video images, compression, nonequilibrium encoding, positional basis.*