

УДК 004.032.6

д-р техн. наук Бараннік В. В. ORCID: 0000-0002-2848-4524 (ХНУ ім. В. Н. Каразіна)  
Гаврилов Д. С. ORCID: 0000-0002-3344-7808 (ХНУРЕ)  
канд. техн. наук Гуржій П. М. ORCID: 0000-0002-2552-229X (ВІТІ ім. Героїв Крут)  
Колесник В. О. ORCID: 0000-0001-7919-4255 (ДНДІВСОВТ)  
Цімура Ю. В. ORCID: 0000-0002-6269-3821 (ВІТІ ім. Героїв Крут)

## МЕТОД АДАПТИВНОГО ЦІЛІСНОГО АРИФМЕТИЧНОГО КОДУВАННЯ З ВРАХУВАННЯМ RLE-ПЕРЕТВОРЕННЯ

У роботі запропоновано метод багаторівневої селективної обробки для підвищення доступності інформації про об'єкти критичної інфраструктури з заданим рівнем достовірності та конфіденційності. Дана технологія ґрунтується на виявленні ключової інформації на декількох етапах обробки та адаптації алгоритму RLE та цілісного арифметичного кодування до нової структури вхідних даних. Таким чином, розглянуто останній етап обробки відеоданих запропонованим підходом, який націлений на зменшення об'єму і має особливість, яка полягає в тому, що отримано подальший розвиток методу лінеаризації двовимірних трансформант на основі зигзаг-сканування. Відмінності методу полягають у проведенні векторної міжтрансформантної зигзаг-лінеаризації з врахуванням селекції спектральних компонент, що визначені як доповнюючі. Вперше розроблено метод декомпозиції лінеаризованої трансформанти на основі визначення порогу. Характерні риси методу: знаходження порогу проводиться з врахуванням наявності в групі різних типів трансформант за визначенням загальної нерівномірної кількості нерівновагових доповнюючих компонент; удосконалено цілісне арифметичне кодування на основі врахування частот елементів словника (двословникове цілісне арифметичне кодування). Відмінні особливості методу: визначення поточних кодових складових за декомпонованим робочим інтервалом залежно від потужності словників значимих елементів та кількостей повторів. Це дозволяє додатково врахувати статистичні особливості складових RLE-структурованої лінеаризованої трансформанти та знизити довжину арифметичного коду; вперше створено технологію стиснення трансформант на основі скорочення різних видів надмірності в групах трансформант. Характерні особливості технології: RLE-структурування нерівномірної доповнюючої частини групи трансформант після їх векторної лінеаризації та декомпошування; формування двох арифметичних кодів за двословниковим принципом нерівномірного поділу робочого інтервалу залежно від типу трансформант у групі.

**Ключові слова:** метод багаторівневої селективної обробки, RLE, арифметичне кодування.

**V. Barannik, D. Havrylov, P. Hurzhii, V. Kolesnyk, Y. Tsimura Adaptive integer arithmetic coding with RLE-transform.**

The paper proposes a method of multilevel selective processing to increase the availability of information about critical infrastructure objects with a given level of reliability and confidentiality. This technology is based on the identification of key information at several stages of processing and adaptation of the RLE algorithm and integral arithmetic coding into a new input data structure. Thus, the last stage of processing video data by the proposed approach is considered, which is aimed at reducing the volume with the following features: further development of the method of linearization of two-dimensional transforms based on zig-zag scanning is obtained. The differences of the method lie in carrying out the vector intertransform zigzag linearization taking into account the selection of spectral components, which is defined as complementary. For the first time, a method of decomposition of a linearized transform based on the definition of a threshold has been developed. Characteristic features of the method: the threshold is found taking into account the presence in the group of different types of transformants to determine the total uneven number of non-equilibrium complementary components; the integral arithmetic coding has been improved based on taking into account the frequencies of dictionary elements (two-dictionary integral arithmetic coding). Distinctive features of the method: determination of the current code components by the decomposed working interval, depending on the capacity of the dictionaries of significant elements and the number of repetitions. This allows additionally taking into account the statistical features of the components of the RLE-structured linearized transform and reducing the length of the arithmetic code; For the first time, a transformant compression technology was created based on the reduction of various types of redundancy in groups of transformants. Characteristic features of the technology: RLE-structuring of the non-uniform complementary part of the group of transforms after their vector linearization and decomposing; the formation of two arithmetic codes according to two dictionary principles of uneven division of the working interval, depending on the type of transformants in the group.

**Keywords:** multilevel selective processing method, RLE, arithmetic coding.

### **Постановка проблеми.**

Збільшення темпів технічного розвитку суспільства в цілому спричинило зростання взаємозв'язків між елементами на всіх рівнях та в усіх сферах життя, особливо в критично важливих галузях суспільної діяльності. Водночас розв'язання складних проблем та задач, які постійно виникають у критично важливих галузях, потребує прийняття своєчасних, обґрунтованих рішень, що вимагають аналізу та узагальнення великої кількості інформації. Припинення (порушення) функціонування систем або об'єктів критичної інфраструктури, як фізичних так і віртуальних, призводить до виникнення кризових ситуацій [1–3]. З метою мінімізації ризиків та підвищення рівня керованості об'єктами критичної інфраструктури використовують системи відеомоніторингу з можливістю передачі даних в реальному масштабі часу. Оскільки особа, яка приймає рішення, потребує якісної та повної інформації про об'єкти відеонагляду, існує тенденція постійного зростання роздільної здатності відеоконтента, обсяг якого може значно перевищувати пропускні спроможності каналів зв'язку [4–6]. Таким чином зростання обсягів відеоконтенту вимагає використання технологій обробки даних, націлених на зменшення об'єму даних, що будуть забезпечувати виконання вимог інформаційної доступності, тобто своєчасності доставки та обробки інформації до кінцевого споживача інформації – особи, яка приймає рішення під час виникнення кризових ситуацій.

Отже, існує нагальна потреба у відшуканні шляхів підвищення доступності інформації для задоволення потреб кінцевих користувачів.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Нині для селективної обробки відеоданих на базі JPEG-платформи використовуються два основні підходи. Перший підхід ґрунтується на обробці зображення в просторово-часовій області. Другий підхід ґрунтується на обробці зображення в спектральній області. У публікаціях [7; 8] викладені можливі шляхи підвищення доступності відеоданих на основі обробки в спектральній області. Основним недоліком даних підходів є важкість селекції ключової інформації при загрозі її пропуску.

В публікаціях [9–11] доведено ефективність використання цілісного арифметичного кодування з метою підвищення доступності. Ефективність базується на потоковому принципі обробки кожного окремого елемента.

В публікаціях [12; 13] запропоновано підхід багаторівневої технології обробки відеоданих, в базис якої входить процес виявлення та обробки ключових даних в просторово-часовій та спектральній областях з метою підвищення рівня достовірності та конфіденційності. Важливим є те, що після обробки подібними методами залишаються лише доповнюючі компоненти, які потребують обробки алгоритмами кодування з метою підвищення рівня доступності відеокадру.

Таким чином, аналіз та вивчення наукових робіт за тематикою дослідження показав, що підвищення рівня достовірності та конфіденційності є актуальною науково-прикладною задачею. Виходячи з зазначеного, **метою статті** є підвищення рівня доступності відеоданих завдяки удосконаленню цілісного арифметичного кодування на основі врахування частоти елементів словника після обробки алгоритмом RLE.

### **Постановка завдання.**

З метою зменшення часу доведення відеоінформаційного ресурсу до авторизованого користувача пропонується розглянути наступний етап обробки відеоданих після обробки алгоритмами, запропонованими у публікаціях [12; 13], метою якого є зменшення об'єму завдяки подальшому розвитку алгоритму кодування без втрат на основі RLE та арифметичного кодування.

### **Виклад основного матеріалу.**

Після обробки відеоданих алгоритмами, запропонованими у публікаціях [12; 13], наступний етап пропонується проводити таким чином.

Спочатку робити розбиття зображення на групи трансформант  $2 \times 2$  (рис. 1). Координати групи трансформант на зображенні мають вигляд  $(\hat{v}, \hat{u})$ , де  $\hat{v}$  – координата групи по строках, а  $\hat{u}$  – по стовпцях [14; 15].

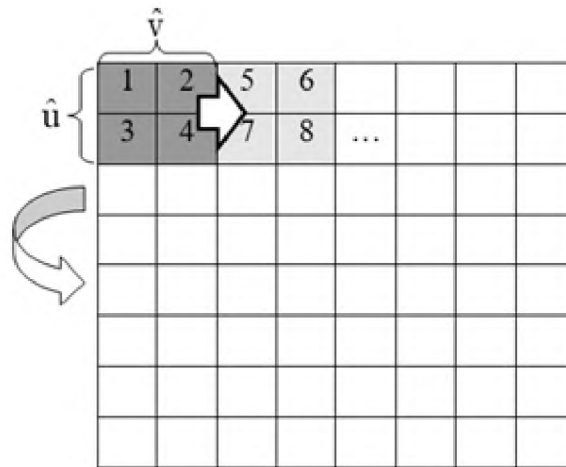


Рис. 1. Порядок розбиття відеозображення на групи трансформант  $2 \times 2$

Для визначення розміру початкових даних при обробці алгоритмом RLE пропонується аналізувати службову інформацію другого етапу, а саме тип трансформанти за насиченістю. Можливі типи комбінацій для групи трансформант наведено у табл. 1.

Аналіз табл. 1 вказав на можливість визначення за номером комбінації кількості  $\eta_{\text{dop}}^{(\text{trg})}$  доповнюючих компонент у групі трансформант. Це, в свою чергу, дозволяє визначити до якого моменту проводити арифметичне кодування та декодування. Також дана особливість дозволяє розділити множину доповнюючих компонент на частини відповідно до потреб (вимог).

Розділення метод декомпозиції лінеаризованої трансформанти на основі визначення порогу після RLE пропонується проводити з метою зменшення потужності словника та забезпечити умови для підвищення кількості надмірності, що скорочується в процесі арифметичного кодування. Характерні риси методу: знаходження порогу проводиться з врахуванням наявності в групі різних типів трансформант за визначенням загальної нерівномірної кількості нерівновагових доповнюючих компонент. Це матиме позитивний ефект, направлений на зменшення вихідного коду окремого кодованого символу на етапі адаптивного цілісного арифметичного кодування.

У нашому дослідженні пропонується розділяти потік доповнюючих компонент на 40 % та 60 % при кількості компонент від 180 до 217. Цей діапазон обрано з міркувань, що при комбінаціях 20–31 (табл. 1) потужність словника значень елементів буде більша ніж у випадках 1–19 та 32–35 (табл. 1), при яких потік передається повністю.

Таким чином, група трансформант, що відповідає комбінації 20–31 (табл. 1) з кількістю  $\eta_{\text{dop}}^{(\text{trg})}$  доповнюючих компонент буде складатись з двох частин та матиме вигляд:

$$\eta_{\text{dop}}^{(\text{trg})} = \eta_{40\% \text{dop}}^{(\text{trg})} + \eta_{60\% \text{dop}}^{(\text{trg})}.$$

У інших випадках  $\eta_{\text{dop}}^{(\text{trg})} = \eta_{100\% \text{dop}}^{(\text{trg})}$ .

Таблиця 1

## Можливі комбінації групи трансформант

Тип трансформанти	Тип комбінацій																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
не містить значиму інформацію	4	3	2	1	-	3	2	1	-	2	1	-	3	2	1	1	-	-	2
слабо	-	1	2	3	4	-	1	2	3	-	1	2	-	1	2	-	3	1	-
середньо	-	-	-	-	-	1	1	1	1	2	2	2	-	-	-	3	-	3	1
сильно	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	1
Кількість $\eta_{\text{dop}}^{(\text{trg})}$ доповнюючих компонент	256	255	254	253	252	246	245	244	243	236	235	234	228	227	226	226	225	225	218
Кількість сегментів для RLE-обробки	1																		
Кількість доповнюючих компонент для RLE-обробки	100% $\eta_{100\% \text{dop}}^{(\text{trg})}$																		
Тип трансформанти	Тип комбінацій																		
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35			
не містить значиму інформацію	1	-	-	1	-	2	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-			
слабо	1	2	-	-	1	-	1	2	-	-	1	-	-	1	-	-			
середньо	1	1	4	2	2	-	-	-	3	1	1	2	-	-	1	-			
сильно	1	1	-	1	1	2	2	2	1	2	2	2	3	3	3	4			
Кількість $\eta_{\text{dop}}^{(\text{trg})}$ доповнюючих компонент	217	216	216	208	207	200	199	198	198	190	189	180	172	171	162	144			
Кількість сегментів для RLE-обробки	2												1						
Кількість доповнюючих компонент для RLE-обробки	40% $\eta_{40\% \text{dop}}^{(\text{trg})}$ , 60% $\eta_{60\% \text{dop}}^{(\text{trg})}$												100% $\eta_{100\% \text{dop}}^{(\text{trg})}$						

Порядок обходу групи трансформант

1	5	21	25	57	61	109	113
9	17	29	53	65	105	117	169
13	33	49	69	101	121	165	173
37	45	73	97	125	161	177	213
41	77	93	129	157	181	209	217
81	89	133	153	185	205	221	241
85	137	149	189	201	225	237	245
141	145	193	197	229	233	249	253

*середньо насичена*

2	6	22	26	58	62	110	114
10	18	30	54	66	106	118	170
14	34	50	70	102	122	166	174
38	46	74	98	126	162	178	214
42	78	94	130	158	182	210	218
82	90	134	154	186	206	222	242
86	138	150	190	202	226	238	246
142	146	194	198	230	234	250	254

*сильно насичена*

3	7	23	27	59	63	111	115
11	19	31	55	67	107	119	171
15	35	51	71	103	123	167	175
39	47	75	99	127	163	179	215
43	79	95	131	159	183	211	219
83	91	135	155	187	207	223	243
87	139	151	191	203	227	239	247
143	147	195	199	231	235	251	255

*середньо насичена*

4	8	24	28	60	64	112	116
12	20	32	56	68	108	120	172
16	36	52	72	104	124	168	176
40	48	76	100	128	164	180	216
44	80	96	132	160	184	212	220
84	92	136	156	188	208	224	244
88	140	152	192	204	228	240	248
144	148	196	200	232	236	252	256

*слабо насичена*

Вихідний потік після наскрізного зиг-заг сканування

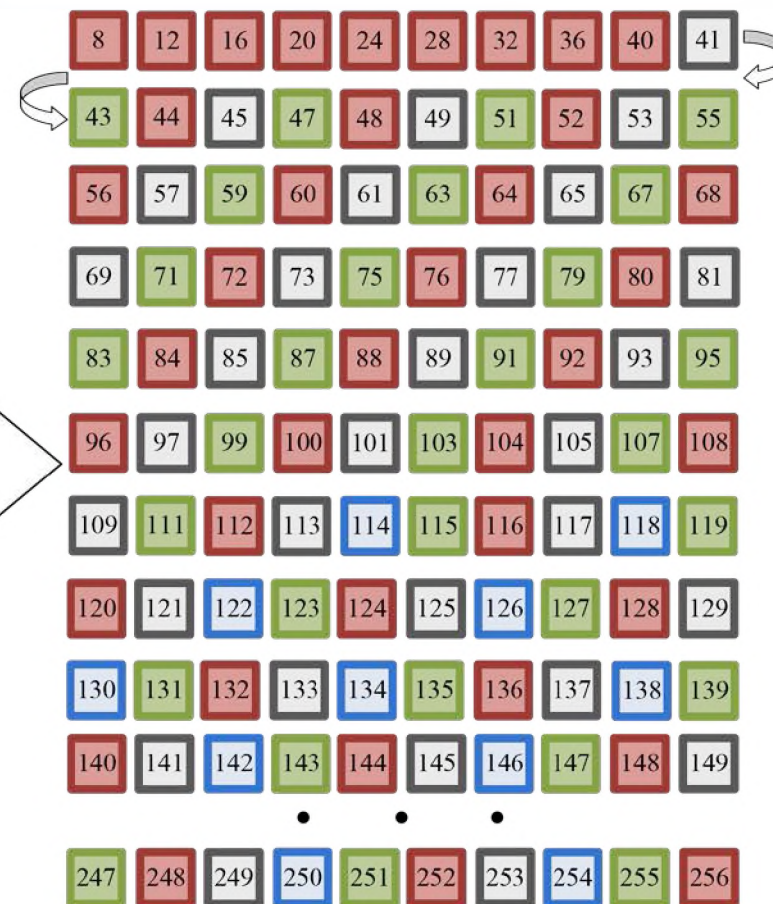


Рис. 2. Процес лінеаризації доповнюючих компонент групи трансформант наскрізним зиг-заг-скануванням

Після виконання наведених вище підготовчих маніпуляцій відповідна кількість компонент подається на алгоритм обробки RLE. В результаті RLE-обробки отримуємо пару «значення елементу  $a_1^{n(\hat{v}, \hat{u})}$ , кількість елементів  $\zeta_1^{n(\hat{v}, \hat{u})}$ » для квантованих компонент групи трансформант.

Таким чином, отримав подальший розвиток метод лінеаризації двовимірних трансформант на основі зигзаг-сканування. Відмінності методу полягають у проведенні векторної міжтрансформантної зигзаг-лінеаризації з врахуванням селекції спектральних компонент, що визначені як доповнюючі. Це забезпечує врахування структурних особливостей в середині і в потоці трансформант та створює умови для підвищення ефективності RLE-перетворення. Вперше розроблено метод декомпозиції лінеаризованої трансформанти на основі визначення порогу. Характерні риси методу: знаходження порогу проводиться з врахуванням наявності в групі різних типів трансформант за визначенням загальної нерівномірної кількості нерівновагових доповнюючих компонент. Це дозволяє зменшити потужності словників елементів RLE-структурованої послідовності; забезпечити умови для підвищення кількості надмірності, що скорочується в процесі арифметичного кодування. Ці перетворення дозволяють зменшити потужність словника, що має позитивний ефект для наступних етапів обробки.

З метою зменшення об'єму даних пропонується проводити обробку удосконаленим адаптивним цілісним арифметичним кодуванням з врахуванням структурних особливостей. Ці особливості полягають у наявності двох типів даних, які належать до словника  $\Psi(a_1^{n(\hat{v}, \hat{u})})$

значень елементів та словника  $\Psi(\zeta_1^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  кількості повторів.

Для зменшення потужності загального словника  $\Psi$  пропонується робити модифікації, а саме:

1) якщо на передавальній стороні величина кількості повторів дорівнює одиниці ( $\zeta_1^{n(\hat{v}, \hat{u})} = 1$ ), то дана величина нехтується (не кодується) у зв'язку з тим, що вона зустрічається найчастіше. Якість відновлення кодової послідовності забезпечується тим, що користувачу відомо, до якого словника належить закодований елемент. У разі надходження на декодер підряд двох елементів зі словника  $\Psi(a_1^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  значень елементів, між ними додається одиниця, так як елементи словників чергуються;

2) так як після етапу квантування завжди буде елемент, величина якого дорівнює нулю ( $a_1^{n(\hat{v}, \hat{u})} = 0$ ), то його слід розміщувати з лівого боку у першому інтервалі ( $l = 1$ ). Адже ймовірність появи даного елементу найбільша. Ця маніпуляція направлена на зменшення коду нульового елементу, що матиме позитивний ефект на рівень компресії в цілому;

3) найбільша величина  $\max(\zeta_1^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  кількості повторів знаходиться в останній парі після обробки алгоритмом RLE. При цьому, значення елементу останньої пари дорівнює нулю  $a_1^{n(\hat{v}, \hat{u})} = 0$ . Виходячи з даних міркувань, кодування останньої пари є надлишковим за умови передачі величини  $\max(\zeta_1^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  кількості повторів останньої пари після обробки алгоритмом RLE у словнику  $\Psi(\zeta_1^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  кількості повторів.

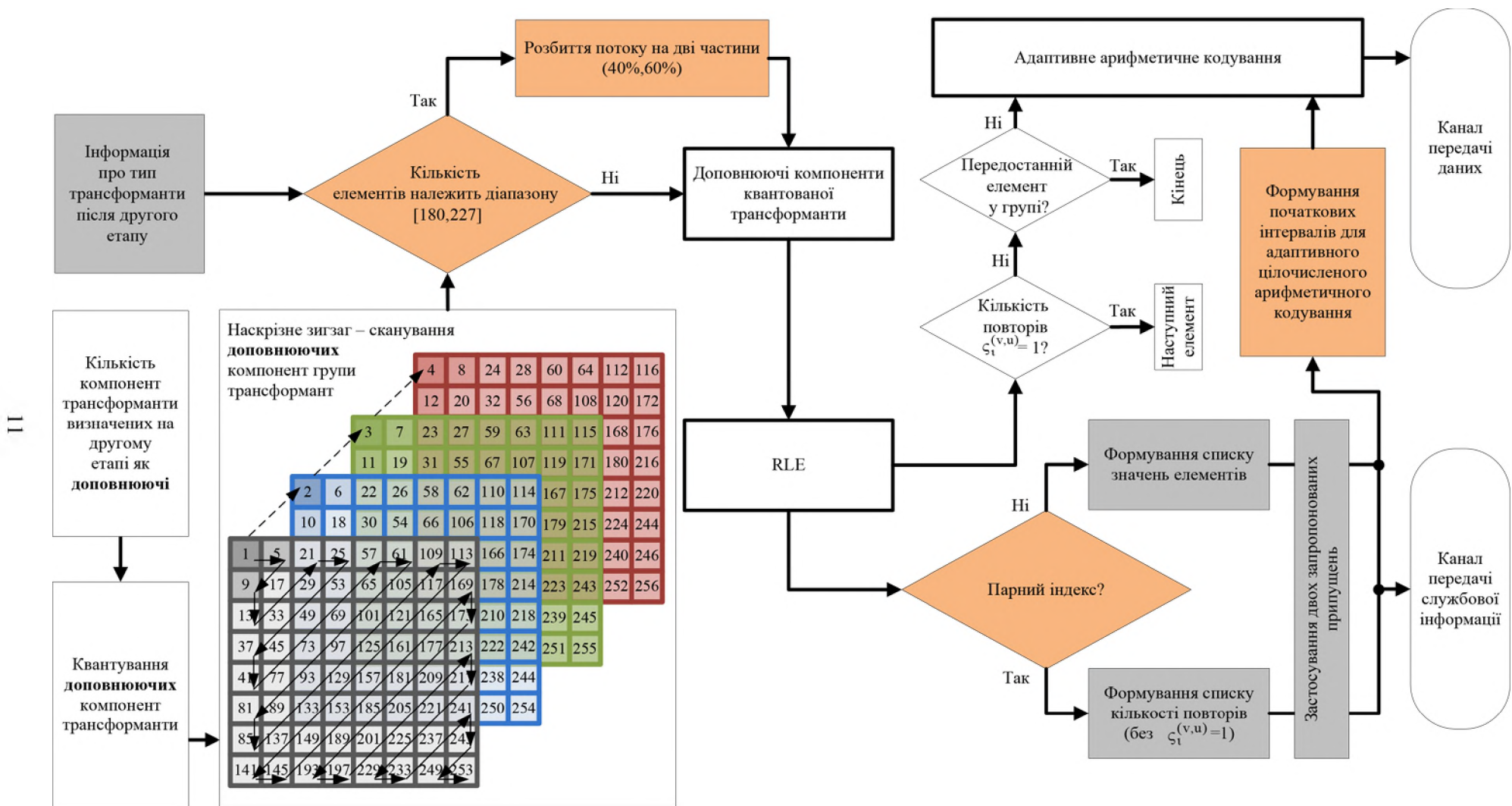


Рис. 4. Блок-схема запропонованого етапу інформаційного методу обробки відеозображення

У запропонованому методі адаптивного цілісного арифметичного кодування у робочому інтервалі компоненти зі словнику  $\Psi(a^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  значень елементу розташовуються зліва, а після них компоненти зі словнику  $\Psi(\zeta^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  кількості повторів – справа (рис. 3).

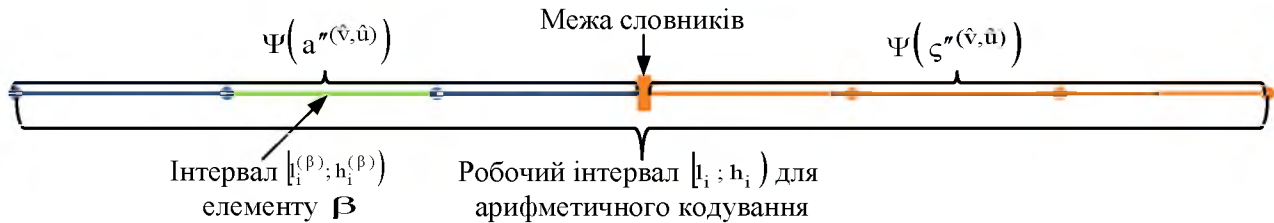


Рис. 3. Приклад побудови робочого інтервалу для арифметичного кодування

Це дозволить однозначно зрозуміти, якому словнику належить декодований елемент, так як межа словників  $\Psi(a^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  та  $\Psi(\zeta^{n(\hat{v}, \hat{u})})$  відома як на передавальній, так і на приймальній стороні. Також, це дозволяє зберегти структуру даних для RLE-декодування, що є важливим, адже як на кодер, так і з декодера поступає потік лінеаризованих компонент  $a_i^{(1, \hat{v}, \hat{u})}$ , зсув (втрата) елементів якого призведе до зниження рівня достовірності.

Узагальнена блок-схема запропонованого етапу методу підвищення доступності інформації про об'єкти критичної інфраструктури з заданим рівнем достовірності та конфіденційності наведена на рис. 4.

Таким чином, удосконалено цілісне арифметичне кодування на основі врахування частоти елементів словника (двословникове цілісне арифметичне кодування). Відмінні особливості методу: визначення поточних кодових складових за декомпонованим робочим інтервалом залежно від потужності словників значимих елементів та кількостей повторів. Це дозволяє додатково врахувати статистичні особливості складових RLE-структурованої лінеаризованої трансформанти та знизити довжину арифметичного коду.

#### Висновки.

У статті запропоновано метод багаторівневої селективної обробки для підвищення доступності інформації про об'єкти критичної інфраструктури з заданим рівнем достовірності та конфіденційності. Дана технологія ґрунтується на виявленні ключової інформації на декількох етапах обробки та адаптації алгоритму RLE та цілісного арифметичного кодування до нової структури вхідних даних. Таким чином, розглянуто останній етап обробки відеоданих запропонованим підходом, який націлений на зменшення об'єму. Задача статті, що полягала в удосконаленні цілісного арифметичного кодування на основі врахування частоти елементів словника після обробки алгоритмом RLE, є досягнутою.

Подальшим напрямком розвитку проведених досліджень може бути модифікація алгоритму RLE.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шульгін С. С. Технологія кодування трансформованих відеосегментів в нерівноваговому діагонально-позиційному просторі // Наукоємні технології. 2022. № 2 (54). С. 147–154.
2. V. 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, December 15–17, 2022, pp. 96–100. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024205.



3. V. Barannik, A. Krasnorutsky, V. Kolesnik, V. Barannik, S. Pchelnykov, P. Zeleny. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks // *Radioelectronic and Computer Systems*, 2022, no 4 (100). pp. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
4. A. Krasnorutsky, R. Onyshchenko, D. Barannik and V. 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, December 15–17, 2022, pp. 53–56. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
5. V. Barannik, Y. Babenko, V. Barannik, V. Kolesnyk and D. Zhuikov. 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, December 15–17, 2022, pp. 66–71. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193.
6. V. Barannik, S. Shulgin, N. Barannik 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, December 15–17, 2022, pp. 72–75. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024236.
7. T. Belikova and S. Sidchenko. The Method Drawing up the Text with the Set Suggestive Orientation to Create a Hidden Channel // *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, December 15–17, 2022, pp. 106–110. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024206.
8. V. Barannik, S. Shulgin, D. Barannik and Y. Sidchenko. Quadrature Compression Technology in Two-Level Polyadic Space for Infocommunication Systems // *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, December 15–17, 2022, pp. 84–87. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024217.
9. Шульгін С. С. Метод динамічного кодування сегментів відеопотоку шляхом з'ясування структурних змін у нерівноважному діагонально-позиційному просторі // *Наукоємні технології*. 2022. № 3 (55). С. 238–243.
10. A. Krasnorutsky, V. Kolesnyk, A. Berchanov, V. Barannik, N. Kharchenko and O. Malko. Method of Structural-Statistical Coding of Video Segments in Spectral-Cluster Space // *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, December 15–17, 2022, pp. 32–37. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024240.
11. O. Slobodyanyuk, A. Krasnorutsky, V. Bezruk, R. Onyshchenko, V. Kolesnyk and S. Podlesny. Approach to Coding with Improved Integrity of Video Information for Transmission in Wireless Infocommunication Networks // *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, December 15–17, 2022, pp. 38–42. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024245.
12. 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, December 15–17, 2022, pp. 88–91. DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.
13. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26).
14. Barannik V., Barannik N., Khimenko V. Method of indirect information hiding in the process of video compression // *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. №. 4. PP. 119–131. URL: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
15. Гаврилов Д. С., Бараннік В. В., Колесник В. О., Шульгін С. С., Єрмаченков А. В. та Савчук М. В. (2022) Method of Visual Data Processing in Telecommunication Network Based on JPEG Platform and Arithmetic Coding // *Visnyk NTUU KPI. Serii – Radiotekhnika Radioaparatorobuduvannia*, (89), pp. 21–28. DOI: 10.20535/RADAP.2022.89.21-28.