

Ю. В. Стасєв¹
І. М. Гупиця¹
М. В. Пархоменко¹

МЕТОД ДОДАТКОВОГО СКОРОЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДМІРНОСТІ КОДОВОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВІДЕОДАНИХ

¹Харківський національний університет повітряних сил імені І. Кожедуба

На сьогоднішній день значний розвиток інформаційних технологій спрямований на удосконалення існуючих алгоритмів та технологій кодування даних відеоінформаційних ресурсів. Це пов'язано з постійним зростанням обсягів даних, що передаються в каналах передачі даних, в умовах існуючих обмежень пропускної здатності. Також, активне використання бездротових технологій для передачі даних супроводжується зростанням вимог до відеоінформаційних ресурсів — компактне представлення кодованих даних в умовах збереження їхньої цілісності. З цією метою розроблено метод кодування даних відеоінформаційного ресурсу з використанням реструктуризації інформаційного простору кодованих даних. Під реструктуризацією інформаційного простору розуміється кластеризація елементів повідомлення. Інструментом для кластеризації виступає кількісна ознака — ознака кількості серій одиниць у внутрішній двійковій структурі елементів повідомлення. Сутність кластеризації полягає в тому, що елементи з однаковими значеннями ознаки кількості серій одиниць формують кластери. Досліджено особливості трансформацій законів розподілу елементів у повідомленні за рахунок використання внутрішньої реструктуризації даних за кількісною ознакою. Сутність розробленого методу кластерного статистичного кодування даних відеоінформаційного ресурсу полягає в тому, що кодування елементів повідомлення відбувається у статистичному просторі множин, що формуються у процесі кластеризації. Характерною рисою методу є збереження цілісності кодованих даних в умовах забезпечення додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих. Проаналізовано ефективність використання розробленого методу кластерного статистичного кодування даних відеоінформаційного ресурсу з позиції можливості забезпечення додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих.

Ключові слова: трансформація, реструктуризація, кластеризація, ознака кількості серій одиниць, кодування, дані відеоінформаційного ресурсу.

Вступ

Активне використання відомчими органами відеоінформаційних ресурсів (ВІР) як засобів для оперативного виявлення та своєчасного реагування на кризові ситуації, що виникають в суспільстві та державі в цілому, вимагає виконання низки вимог, що висувуються до ВІР з позиції забезпечення їхнього компактного представлення в умовах збереження цілісності. Це пов'язано з тим, що на сьогоднішній день для доставки ВІР в інтересах відомчих органів активно використовуються бездротові технології передачі даних [1]—[4]. В свою чергу, використання зазначених технологій пов'язане з низкою проблемних аспектів: вплив перешкод; обмеження пропускної спроможності каналів передачі даних. Останнє вимагає подальшого розвитку інформаційних технологій в напрямку компактнішого представлення кодованих даних [5]—[12]. Зі свого боку, зростання семантичного навантаження елементів відеоінформаційних ресурсів, пов'язане з активним розвитком засобів (джерел) отримання відеоінформації, викликає необхідність забезпечення збереження цілісності відеоінформації з метою недопущення втрати ключової інформації. З метою вирішення зазначених проблемних аспектів досить активно використовуються сучасні алгоритми та технології [13]—[19].

Сучасні алгоритми кодування даних відеоінформаційних ресурсів активно використовують методи зовнішньої реструктуризації даних для вигіднішого представлення даних, що кодуються

[20]—[26]. Аналіз методів зовнішньої реструктуризації свідчить про наявність значних недоліків [27], [28]. Тому запропоновано новий підхід — внутрішня реструктуризація даних, суть якої полягає у виявленні закономірностей у внутрішній двійковій структурі елементів повідомлення за кількісним ознакою [29]. Для формування кількісної ознаки розроблено концептуальну модель [30]. Аналіз зазначеної моделі свідчить про переваги застосування комбінованого підходу у процесі формування кількісної ознаки [31]. У роботах [3], [32] як інструмент для реструктуризації даних обґрунтовано вибір ознаки кількості серій одиниць.

Метою роботи є розробка методу кодування даних відеоінформаційного ресурсу для додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих в умовах збереження їхньої цілісності.

Метод кодування даних інформаційного ресурсу у статистичному просторі множин, що формуються у процесі кластеризації

В загальному випадку повідомлення $U(\theta)$ задається виразом

$$U(\theta) = \{u_1; \dots; u_\xi; \dots; u_0\}, \quad \xi = \overline{1, \theta}, \quad (1)$$

де $U(\theta)$ — початкове повідомлення; u_ξ — елемент повідомлення $U(\theta)$.

Кластеризація відеопослідовності $U(\theta)$ за ознакою кількості λ серій одиниць (СО) задається таким виразом:

$$U(\theta) \xrightarrow{f_{cl}} \left\{ U(\lambda_1), \dots, U(\lambda_i), \dots, U(\lambda_{|\Lambda(U(\theta))|}) \right\}, \quad (2)$$

де f_{cl} — функціонал кластеризації повідомлення $U(\theta)$ на множини $U(\lambda_i)$ за ознакою λ , $\lambda = \overline{\lambda_1, \lambda_{|\Lambda(U(\theta))|}}$; $U(\lambda_i)$ — множина (кластер) елементів u_ξ , двійкове представлення яких має однакові значення ознаки λ , тобто $\lambda = \lambda_i$.

Статистичне кодування елементів $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$, яка складається з κ елементів ($\xi = \overline{1, \kappa}$), задається таким виразом:

$$U(u_{\xi,i}) \xrightarrow{f_{vlc}} L'(\kappa), \quad \xi = \overline{1, \kappa}, \quad (3)$$

де $f_{vlc}(u_{\xi,i}, P(u_{\xi,i}))$ — функція формування нерівномірних кодових конструкцій (КК) $\ell_{\xi,i}$ для елементів $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$.

Тут використовується інформація про розподіл значень ймовірностей $P(u_{\xi,i})$ появи елементів $u_{\xi,i}$ у множинах $U(\lambda_i)$, з урахуванням якої на основі функції $f_{vlc}(u_{\xi,i}, P(u_{\xi,i}))$ формується кодова конструкція $\ell_{\xi,i}$. Ця функція описується виразом

$$\ell_{\xi,i} = f_{vlc}(u_{\xi,i}, P(u_{\xi,i})), \quad (4)$$

де $\ell_{\xi,i}$ — нерівномірні КК, що присвоюються елементам $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$; $P(u_{\xi,i})$ — ймовірність появи елементів $u_{\xi,i}$ у множині $U(\lambda_i)$.

В результаті статистичного кодування елементів $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$ формується набір $L'(\kappa)$ кодових конструкцій $\ell_{\xi,i}$, який має вигляд

$$L'(\kappa) = \{ \ell_{1,i}; \dots; \ell_{\xi,i}; \dots; \ell_{\kappa,i} \}, \quad (5)$$

де κ — кількість нерівномірних кодових конструкцій в наборі кодів $L'(\kappa)$.

Нерівномірні кодові конструкції $\ell_{\xi,i}$, що присвоюються елементам $u_{\xi,i}$ множин $U(\lambda_i)$, складаються з послідовності $[\ell_{\xi,i}]_2$ двійкових розрядів $q_{\xi,\alpha}$, $\alpha = \overline{1, |\ell_{\xi,i}|_2}$. Це задається таким чином:

$$[\ell_{\xi,i}]_2 = \{q_{\xi,1}; \dots; q_{\xi,\alpha}; \dots; q_{\xi,|\ell_{\xi,i}|_2}\}, \tag{6}$$

де $q_{\xi,\alpha}$ — α -й розряд кодової конструкції $\ell_{\xi,i}$; $|\ell_{\xi,i}|_2$ — довжина нерівномірної кодової конструкції $\ell_{\xi,i}$, що присвоюється елементу $u_{\xi,i}$ кластеру $U(\lambda_i)$.

Далі пропонується проаналізувати ефективність розробленого методу кластерного статистичного кодування з позиції забезпечення скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих.

Аналіз ефективності розробленого методу кластерного статистичного кодування з позиції забезпечення скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих

В результаті кластеризації елементів u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ за ознакою кількості λ_i СО можуть виникати такі варіанти трансформації характеру закону розподілу ймовірностей появи елементів (рис. 1):

- 1) підвищення динамічних діапазонів значень ймовірності появи елементів;
- 2) схожість законів розподілу ймовірностей появи елементів;
- 3) суттєва трансформація закону розподілу ймовірностей появи елементів.

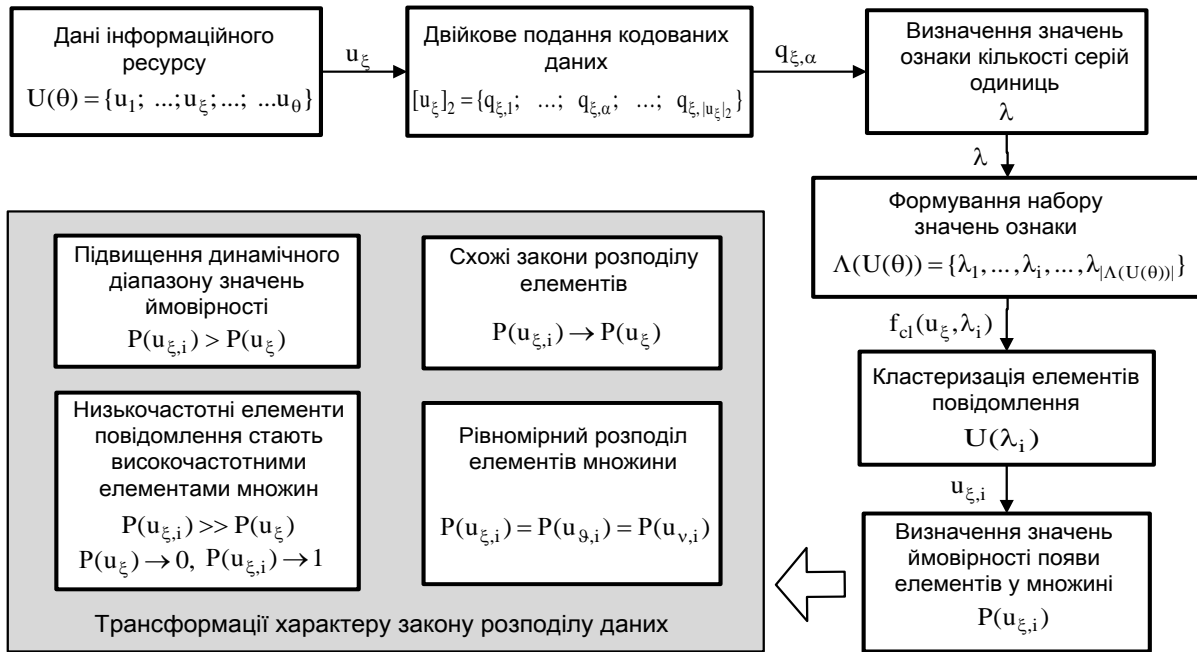


Рис. 1. Структурно-функціональна схема трансформації характеру закону розподілу елементів повідомлення внаслідок кластеризації за ознакою кількості серій одиниць

Запропоновано детальніше дослідити типові трансформації ймовірнісного закону розподілу елементів.

Так в результаті кластеризації елементів повідомлення можуть формуватися у кластери, які будуть мати схожі з початковим повідомленням характеру законів розподілу елементів, відмінність буде спостерігатися у підвищенні динамічного діапазону значень ймовірності появи елементів за рахунок зниження потужності даних, що кодуються, тобто:

$$P(u_{\xi,i}) > P(u_{\xi}),$$

де $P(u_{\xi})$ — ймовірність появи елемента u_{ξ} у повідомленні $U(\theta)$.

Таким чином, у процесі кластеризації елементів u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ за ознакою кількості λ_i СО, може формуватися такий кластер $U(\lambda_i)$ елементів $u_{\xi,i}$, для якого буде справедливим такий вираз:

$$P(u_{\xi,i}) \rightarrow P(u_{\xi}). \tag{7}$$

Такий варіант трансформації характеру закону розподілу елементів можливий за виконання таких умов:

- коли у процесі кластеризації низькочастотні елементи повідомлення формують окремі множини;
- основна частина елементів повідомлення яка включає в себе високочастотні елементи повідомлення, формує одну множину.

Це означає, що якщо в процесі кластеризації елементи u_{ϑ} і u_{ν} повідомлення $U(\theta)$, значення ймовірностей появи яких у повідомленні $U(\theta)$ наближаються до нуля, формують одну множину, то для інших елементів повідомлення $U(\theta)$, які формують іншу множину, буде справедливим твердження, яке задається виразом (7), тобто:

$$\text{якщо} \quad P(u_{\vartheta}) \rightarrow 0, P(u_{\nu}) \rightarrow 0, \text{ де } u_{\vartheta}, u_{\nu} \in U(\lambda_j),$$

$$\text{то} \quad P(u_{\xi,i}) \rightarrow P(u_{\xi}), \quad u_{\xi,i} \in U(\lambda_i),$$

де u_{ϑ} , u_{ν} — ϑ -й і ν -й елементи повідомлення $U(\theta)$; $P(u_{\vartheta})$, $P(u_{\nu})$ — ймовірність появи ϑ -го та ν -го елементів у повідомленні $U(\theta)$; $U(\lambda_j)$ — множина, в яку об'єднуються ϑ -й і ν -й елементи повідомлення $U(\theta)$ в процесі реструктуризації.

Для досліджуваного прикладу трансформація закону розподілу елементів u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ в процесі кластеризації за ознакою кількості λ серій одиниць описується таким виразом:

$$U(\theta) \xrightarrow{f_{cl}} \begin{cases} U(\lambda_j), P(u_{\vartheta,j}) \gg P(u_{\vartheta}), P(u_{\nu,j}) \gg P(u_{\nu}), \\ U(\lambda_i), P(u_{\xi,i}) \rightarrow P(u_{\xi}), \end{cases} \quad (8)$$

де $P(u_{\vartheta,j}), P(u_{\nu,j})$ — ймовірність появи ϑ -го, ν -го елементів у множині $U(\lambda_j)$.

Слід зазначити, що вираз (8), буде справедливим і для випадку, коли низькочастотні елементи повідомлення $U(\theta)$ в результаті реструктуризації будуть належати різним множинам, тобто якщо

$$u_{\vartheta} \in U(\lambda_j), \quad u_{\nu} \notin U(\lambda_j).$$

Так, якщо низькочастотний елемент u_{ϑ} повідомлення $U(\theta)$ в результаті реструктуризації за кількісною ознакою належить множині $U(\lambda_j)$, а низькочастотний елемент u_{ν} — відповідно множині $U(\lambda_n)$, то значення ймовірності появи інших (зокрема високочастотних) елементів, які об'єднуються у множину $U(\lambda_i)$, будуть наближатися до значень ймовірностей появи у повідомленні $U(\theta)$, тобто:

$$\text{якщо } u_{\vartheta} \in U(\lambda_j); u_{\nu} \in U(\lambda_n); P(u_{\vartheta}) \rightarrow 0; P(u_{\nu}) \rightarrow 0, \text{ то } ; u_{\xi,i} \in U(\lambda_i),$$

де $U(\lambda_n)$ — множина, яку в результаті реструктуризації формує низькочастотний ν -й елемент повідомлення $U(\theta)$; $U(\lambda_i)$ — множина, в яку об'єднуються елементи повідомлення $U(\theta)$, які не ввійшли до складу множин $U(\lambda_n)$ та $U(\lambda_j)$.

Трансформація закону розподілу елементів u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ в результаті реструктуризації за ознакою кількості серій одиниць для цього випадку задається таким виразом:

$$U(\theta) \xrightarrow{f_{cl}} \begin{cases} U(\lambda_j), P(u_{\vartheta}) \rightarrow 0, \quad P(u_{\vartheta,j}) \gg P(u_{\vartheta}), \\ U(\lambda_n), P(u_{\nu}) \rightarrow 0, \quad P(u_{\nu,n}) \gg P(u_{\nu}), \\ U(\lambda_i), P(u_{\xi,i}) \rightarrow P(u_{\xi}). \end{cases} \quad (9)$$

Схема ілюстрації такого варіанта трансформації характеру закону розподілу ймовірностей появи елементів повідомлення, внаслідок використання запропонованої технології кластеризації показана на рис. 2. На рис. 2 подано приклад структурної схеми блоку U_{τ} елементів u_{ξ} розміром

8×8 (типовий блок середньонасиченого відеозображення [33]), для якого внаслідок застосування кластеризації за ознакою кількості λ_i СО формуються три множини $U(\lambda_i)$.

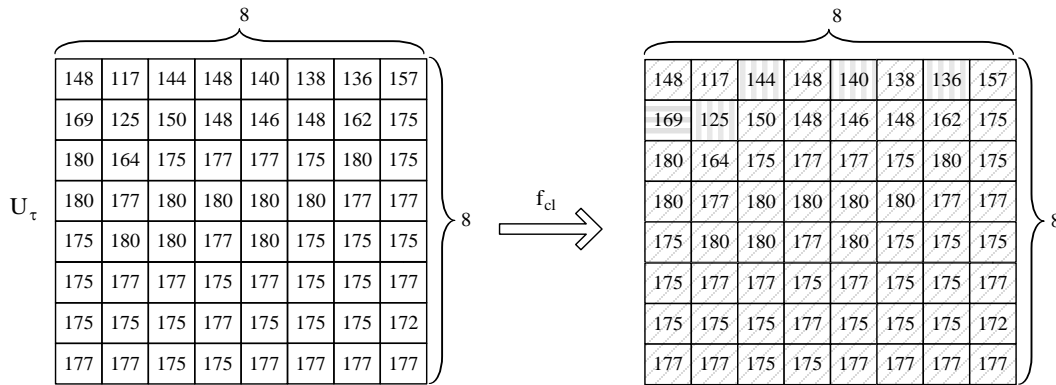


Рис. 2. Схема ілюстрації результатів кластеризації елементів блоку за ознакою кількості серій одиниць:

 — елементи $u_{\xi,1}$, що формують кластер $U(\lambda_1)$; $\lambda_1 = 2$;
 — елементи $u_{\xi,2}$, що формують кластер $U(\lambda_2)$; $\lambda_2 = 3$;
 — елементи $u_{\xi,3}$, що формують кластер $U(\lambda_3)$, $\lambda_3 = 4$

Для аналізованого прикладу елементам u_{ξ} блоку U_{τ} відповідає такий набір значень ознаки кількості λ_i СО:

$$\Lambda = \{2, 3, 4\},$$

де Λ — набір ознаки кількості серій одиниць.

Відповідно, в результаті кластеризації елементи блоку формують три кластери, тобто:

$$|\Lambda| = 3,$$

де $|\Lambda|$ — потужність набору кількісної ознаки.

Кластеризація елементів u_{ξ} аналізованого блоку U_{τ} за ознакою кількості λ_i СО описується виразом

$$U_{\tau} \xrightarrow{f_{cl}} \begin{cases} U(\lambda_1), \lambda_1 = 2, |U(\lambda_1)| = 4, \\ U(\lambda_2), \lambda_2 = 3, |U(\lambda_2)| = 59, \\ U(\lambda_3), \lambda_3 = 4, |U(\lambda_3)| = 1. \end{cases} \quad (10)$$

Структурна схема трансформації характеру закону розподілу ймовірностей $P(u_{\xi})$ появи елементів u_{ξ} у блоці U_{τ} , внаслідок проведення кластеризації за кількісною ознакою λ_i , показана на рис. 3.

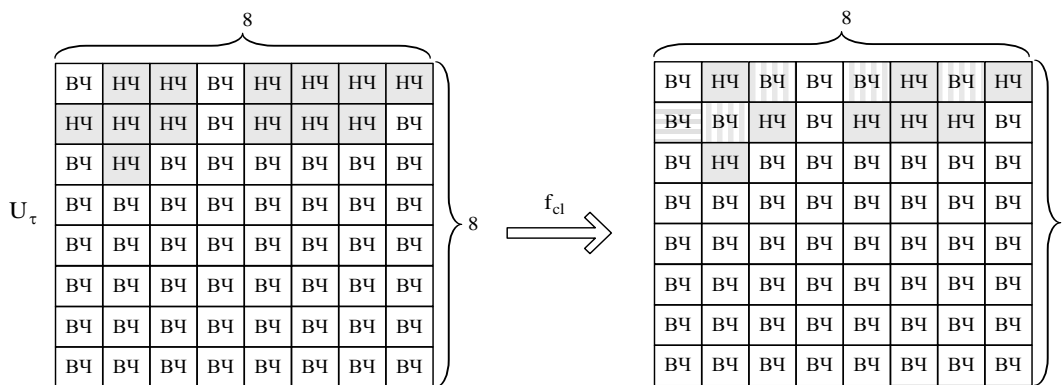


Рис. 3. Структурна схема трансформації характеру закону розподілу ймовірностей появи елементів у блоці НЧ — низькочастотні елементи блоку; ВЧ — високочастотні елементи блоку; ВЧ — елементи u_{ξ} блоку U_{τ} , які після кластеризації стають високочастотними елементами кластеру $U(\lambda_i)$, $\lambda_i = 2$; ВЧ — елементи u_{ξ} блоку U_{τ} , які після кластеризації стають високочастотними елементами кластеру $U(\lambda_i)$, $\lambda_i = 4$

Аналіз можливих трансформацій характеру закону розподілу ймовірностей появи елементів повідомлення в результаті застосування кластеризації за кількісною ознакою свідчить про таке:

– трансформація характеру закону розподілу ймовірностей $P(u_\xi)$ появи елементів u_ξ у повідомленні $U(\theta)$ в результаті застосування кластеризації призводить до зниження потужності кодованих даних;

– створюються умови для підвищення ефективності статистичного кодування з позиції додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення даних відеоінформаційного ресурсу. Слід зазначити, що чим значніше буде трансформація, тим менше буде довжина окремих кодових конструкцій, які присвоюються елементам, і відповідно вихідної кодової послідовності в цілому.

Далі пропонується провести аналіз ефективності розробленого методу кластерного статистичного кодування з позиції забезпечення скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих. В якості початкових даних (початкового повідомлення) пропонується використовувати досліджуваний приклад (див. рис. 2).

Результати статистичного кодування елементів повідомлення з використанням класичного методу статистичного кодування та розробленого методу подані в таблиці.

Результати статистичного кодування елементів повідомлення з використанням класичного методу статистичного кодування та розробленого методу

ξ	u_ξ	$[u_\xi]_2$	λ_i	$P(u_\xi)$		ℓ_ξ		$ \ell_\xi _2$, біт		$\Delta \ell_\xi _2$, біт
				$U(\lambda_i)$	U_τ	$U(\lambda_i)$	U_τ	$U(\lambda_i)$	U_τ	
1	117	01110101	3	0,016949	0,015625	011100	1011110	6	7	1
2	125	01111101	2	0,25	0,015625	11	101001	2	6	4
3	136	10001000	2	0,25	0,015625	10	100110	2	6	4
4	138	10001010	3	0,016949	0,015625	011101	100101	6	6	0
5	140	10001100	2	0,25	0,015625	01	100100	2	6	4
6	144	10010000	2	0,25	0,015625	00	1011111	2	7	5
7	146	10010010	3	0,016949	0,015625	01000	101011	5	6	1
8	148	10010100	3	0,067797	0,0625	0110	1000	4	4	0
9	150	10010110	3	0,016949	0,015625	011111	101010	6	6	0
10	157	10011101	3	0,016949	0,015625	011110	100111	6	6	0
11	162	10100010	3	0,016949	0,015625	01001	101100	5	6	1
12	164	10100100	3	0,016949	0,015625	01010	101101	5	6	1
13	169	10101001	4	1	0,015625	0	101000	1	6	5
14	172	10101100	3	0,016949	0,015625	01011	101110	5	6	1
15	175	10101111	3	0,338983	0,3125	11	11	2	2	0
16	177	10110001	3	0,288136	0,265625	10	01	2	2	0
17	180	10110100	3	0,169492	0,15625	00	00	2	2	0

Аналізуючи результати з таблиці, можна зробити такі висновки:

1. В результаті кластеризації елементів u_ξ блоку U_τ за ознакою кількості λ_i СО основна частина елементів u_ξ блоку U_τ , що включає в себе високочастотні елементи, формує окремий кластер $U(\lambda_i)$, який задається виразом

$$U(\lambda_2) \in \{u_\xi | \lambda_2 = 3\}.$$

В цьому випадку результатом застосування кластеризації є несуттєве зниження потужності блоку U_τ . Так потужність множини $U(\lambda_2)$ елементів $u_{\xi,i}$ зі значенням ознаки λ_i , що дорівнює 3, має таке значення:

$$|U(\lambda_2)| = 59.$$

Враховуючи той фактор, що потужність блоку в результаті кластеризації знизилася несуттєво (на 7,8% для множини $U(\lambda_2)$), виникає ситуація коли закон розподілу ймовірностей появи елементів у множині має схожий (ідентичний) характер із законом розподілу ймовірностей появи елементів у блоці, тобто буде справедливим вираз (7).

Слід зазначити, що залежність ймовірності $P(u_{\xi,i})$ появи елемента $u_{\xi,i}$ у множині $U(\lambda_i)$ від зміни потужності $|U_\tau|$ блоку U_τ в результаті кластеризації задається таким співвідношенням:

$$\frac{|U_\tau|}{|U(\lambda_i)|} = \frac{P(u_\xi)}{P(u_{\xi,i})}, \quad (11)$$

де $|U_\tau|$ — потужність блоку U_τ ; $|U(\lambda_i)|$ — потужність множини $U(\lambda_i)$.

Тобто чим менша потужність $|U(\lambda_i)|$ множини $U(\lambda_i)$, що формується в процесі кластеризації елементів u_ξ за ознакою кількості λ_i СО, тим більше значення ймовірності $P(u_{\xi,i})$ появи елементів у множині $U(\lambda_i)$. Відповідно зі зростанням значення ймовірності $P(u_{\xi,i})$ скорочується довжина $|\ell_{\xi,i}|_2$ коду $\ell_{\xi,i}$, що присвоюється елементу $u_{\xi,i}$.

Так результатом застосування розробленого методу кодування є скорочення довжини кодових конструкцій, що присвоюються елементам повідомлення в результаті кодування у статистичному просторі множин (див. табл.):

- 1) для елементів зі значенням ознаки кількості λ_i СО, що дорівнює 4 — на 83,3 %;
- 2) для елементів зі значенням ознаки кількості λ_i СО, що дорівнює 3 — від 14,3 до 16,7 %;
- 3) для елементів зі значенням ознаки кількості λ_i СО, що дорівнює 2 — від 66,7 до 71,4 %;
- 4) відповідно, у середньому для аналізованого повідомлення — на 25,6 %.

Слід зазначити, що вираз (11) буде справедливим не тільки для випадку, коли закон розподілу ймовірностей $P(u_{\xi,i})$ появи елементів $u_{\xi,i}$ у множині $U(\lambda_i)$ має характер схожий із законом розподілу ймовірностей $P(u_\xi)$ появи елементів u_ξ у блоці U_τ , а й у всіх інших випадках трансформації.

2. В результаті кластеризації елементів u_ξ блоку U_τ за ознакою кількості λ_i СО частина низькочастотних елементів u_ξ (елементів u_ξ з найменшими значеннями ймовірностей $P(u_\xi)$) блоку U_τ формує окремі множини $|U(\lambda_i)|$, що задаються такими виразами:

$$U(\lambda_1) \in \{u_2, u_3, u_5, u_6 | \lambda_1 = 2\}; \quad U(\lambda_3) \in \{u_{13} | \lambda_3 = 4\}.$$

В свою чергу, потужність $|U(\lambda_i)|$ множин $U(\lambda_i)$ низькочастотних елементів u_ξ значно нижче за потужність $|U_\tau|$ блоку U_τ , тобто

$$|U(\lambda_1)| \ll |U_\tau|; \quad |U(\lambda_3)| \ll |U_\tau|.$$

Відповідно скорочення потужності $|U_\tau|$ блоку U_τ призвело до трансформації закону розподілу ймовірностей $P(u_\xi)$ появи елементів u_ξ . Для аналізованого прикладу низькочастотні елементи u_ξ блоку U_τ , тобто елементи u_ξ зі значеннями ймовірностей $P(u_\xi)$

$$P(u_2) = P(u_3) = P(u_5) = P(u_6) = P(u_{13}) = 0,015625$$

стали високочастотними елементами множин $U(\lambda_i)$

$$P(u_{2,1}) = P(u_{3,1}) = P(u_{5,1}) = P(u_{6,1}) = 0,25; \quad P(u_{13,3}) = 1.$$

Таким чином, подальшим варіантом зміни характеру закону розподілу ймовірностей $P(u_\xi)$ поя-

ви елементів u_ξ у повідомленні $U(\theta)$, в результаті застосування кластеризації, є його суттєва трансформація для окремих множин $U(\lambda_i)$. Це означає, що можуть формуватися множини $U(\lambda_i)$, для яких суттєво змінюється характер закону розподілу ймовірностей $P(u_{\xi,i})$ появи елементів $u_{\xi,i}$. Такий тип трансформації стає можливим у разі, коли низькочастотний елемент u_ξ повідомлення $U(\theta)$ стає високочастотним елементом $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$. Таким чином, якщо значення ймовірності $P(u_\xi)$ появи елемента u_ξ у повідомленні $U(\theta)$ прямує до нуля, тобто $P(u_\xi) \rightarrow 0$, то внаслідок кластеризації елемент u_ξ може формувати таку множину $U(\lambda_i)$, в якій значення ймовірності $P(u_{\xi,i})$ появи елемента буде прямувати до одиниці, тобто $P(u_{\xi,i}) \rightarrow 1$.

Висновки

Таким чином, результати оцінки ефективності застосування розробленого методу кодування з позиції додаткового скорочення структурної надмірності кодової послідовності свідчать про те, що для прикладу, що аналізується, довжина кодових конструкцій, які присвоюються елементам повідомлення в результаті кодування в статистичному просторі множин скорочується в середньому на 25,6 %. Це пов'язано з тим, що застосування кластеризації елементів повідомлення за ознакою кількості серій одиниць, для вигіднішого представлення даних, що кодуються, призводить до значних трансформацій характеру закону розподілу елементів у множинах.

В свою чергу трансформація характеру закону розподілу ймовірностей появи елементів у повідомленні в результаті застосування кластеризації призводить до зниження потужності даних, що кодуються. Це дозволяє підвищити ефективність статистичного кодування з позиції додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення даних відеоінформаційного ресурсу. Слід зазначити, що чим значніша трансформація, тим менша довжина окремих кодових конструкцій, які присвоюються елементам і відповідно вихідної кодової послідовності в цілому.

Метою подальших досліджень є детальний аналіз впливу трансформації характеру закону розподілу ймовірностей появи елементів у повідомленні внаслідок застосування кластеризації за кількісною ознакою на стратегію позиціонування окремих кодових конструкцій у загальній кодовій послідовності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] S. Wang, S. Kim, Z. Yin, and T. He, "Encode when necessary: Correlated network coding under unreliable wireless links," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 13, no. 1, pp. 24-29, 2017. <https://doi.org/10.1145/3023953>.
- [2] C. Chen, and Y. Zhuo, "A research on anti-jamming method based on compressive sensing for OFDM analogous system," in *IEEE 17th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, 2017, pp. 655-659, <https://doi.org/10.1109/ICCT.2017.8359718>.
- [3] B. Zhurakovskiy, J. Boiko, V. Druzhynin, I. Zeniv, and O. Eromenko, "Increasing the efficiency of information transmission in communication channels," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19 (3), pp. 1306-1315, 2020. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3>.
- [4] R. Swaminathan, and A. Madhukumar, "Classification of Error Correcting Codes and Estimation of Interleaver Parameters in a Noisy Transmission Environment," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 63, no. 3, 2017, pp. 463-478. <https://doi.org/10.1109/TBC.2017.2704436>.
- [5] T. Richter, "Error Bounds for HDR Image Coding with JPEG XT," *Data Compression Conference (DCC)*, 2017, pp. 122-130. <https://doi.org/10.1109/DCC.2017.7>.
- [6] S. Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang, Ma, S., and W. Gao, "Utility Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, 2017.
- [7] A. Djelouah, J. Campos, S. Schaub-Meyer, and C. Schroers, "Neural Inter-Frame Compression for Video Coding," *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019, pp. 6420-6428. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00652>.
- [8] X. Zhu, L. Liu, and Na Ai P. Jin, "Morphological component decomposition combined with compressed sensing for image compression," *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, <https://doi.org/10.1109/ICInfA.2016.7832096>.
- [9] O. Rippel, "Learned Video Compression," *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019, pp. 3453-3462. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00355>.
- [10] Z. Wang, R. Liao, and Y. Ye, "Joint Learned and Traditional Video Compression for P Frame," *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2020, pp. 560-564. <https://doi.org/10.1109/CVPRW50498.2020.00075>.
- [11] Y. S. Manzhos, and Y. V. Sokolova, "A Method of IoT Information Compression," *International Journal of Computing*, 21(1), pp. 100-110, 2022. <https://doi.org/10.47839/ijc.21.1.2523>.

- [12] X. Wang, J. Xiao, R. Hu, and Z. Wang, "Cruise UAV Video Compression Based on Long-Term Wide-Range Background," *Data Compression Conference (DCC)*, 2017, pp. 466-467. <https://doi.org/10.1109/DCC.2017.71>.
- [13] T. Shinde, "Efficient Image Set Compression," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2019, pp. 3016-3017. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2019.8803230>.
- [14] C. Narmatha, P. Manimegalai, and S. Manimurugan, "A LS-compression scheme for grayscale images using pixel based technique," *International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT)*, 2017, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/IGEHT.2017.8093980>.
- [15] S. Han, H. Mao, and W. Dally, *Deep compression: Compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and Huffman coding*, 2015. arXiv: 1510.00149.
- [16] J. Lee, S. Cho, and S.-K. Beack, *Context-adaptive entropy model for end-to-end optimized image compression*, 2018. arXiv: 1809.10452.
- [17] Y. Chen, F. Wu, C. Li, and P. Varshney, "An Efficient Construction Strategy for Near-Optimal Variable-Length Error-Correcting Codes," *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 3, pp. 398-401, 2019. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2019.2891623>.
- [18] Y. Yehezkeally, and M. Schwartz, "Limited-Magnitude Error-Correcting Gray Codes for Rank Modulation," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 63, no. 9, pp. 5774-5792, 2017. <https://doi.org/10.1109/TIT.2017.2719710>.
- [19] F. Artuğer, and F. Özkaynak, "Fractal Image Compression Method for Lossy Data Compression," *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 2018, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620735>.
- [20] J. Lin, D. Liu, H. Li, and F. Wu, "M-LVC: Multiple Frames Prediction for Learned Video Compression," *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2020, pp. 3543-3551. DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00360.
- [21] W. Dong, and J. Wang, "JPEG Compression Forensics against Resizing," *IEEE Trustcom/ BigDataSE/ISPA*, Tianjin, China, 2016, pp. 1001-1007. <https://doi.org/10.1109/TrustCom.2016.0168>.
- [22] W. Xiao, N. Wan, A. Hong, and X. Chen, "A Fast JPEG Image Compression Algorithm Based on DCT," *IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)*, 2020, pp. 106-110. <https://doi.org/10.1109/SmartCloud49737.2020.00028>.
- [23] A. Phatak, "A Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 8, no. 6, pp. 64-71, 2016. <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2016.06.08>.
- [24] H. Wu, X. Sun, J. Yang, W. Zeng, and F. Wu, "Lossless Compression of JPEG Coded Photo Collections," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25, no. 6, pp. 2684-2696, 2016. <https://doi.org/10.1109/TIP.2016.2551366>.
- [25] M. Akbari, J. Liang, J. Han, and C. Tu, "Learned Variable-Rate Image Compression With Residual Divisive Normalization," *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 2020, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICME46284.2020.9102877>.
- [26] M. A. Alam, "Faster Image Compression Technique Based on LZW Algorithm Using GPU Parallel Processing," *Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR)*, 2018, pp. 272-275. <https://doi.org/10.1109/ICIEV.2018.8640956>.
- [27] S. Khmelevskiy, I. Tupitsya, Q. A. Mahdi, O. Musienko, M. Parkhomenko, and Y. Borovensky, "Development of the external restructuring method to increase the efficiency of information resource data encoding," *Information Processing Systems*, 3(166), pp. 52-61, 2021. <https://doi.org/10.30748/soi.2021.166.06>.
- [28] V. Barannik, S. Sidchenko, I. Tupitsya, and S. Stasev, "The application for internal restructuring the data in the entropy coding process to enhance the information resource security," *IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS)*, 2016, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807749>.
- [29] V. Barannik, et al., "The Application of the Internal Restructuring Method of the Information Resource Data According to the Sign of the Number of Series of Units to Improve the Statistical Coding Efficiency." *10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2019, pp.65-69. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924460>.
- [30] V. Barannik, I. Tupitsya, O. Kovalenko, Y. Sidchenko, V. Yroshenko, and O. Stepanko, "The analysis of the internal restructuring method efficiency used for a more compact representation of the encoded data," *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020): proceedings of the Intern. Conf.*, 2020, pp. 89-92. <https://doi.org/10.1109/ATIT49449.2019.9030451>.
- [31] V. Barannik, I. Tupitsya, O. Dodukh, V. Barannik, and M. Parkhomenko, "The Method of Clustering Information Resource Data on the Sign of the Number of Series of Units as a Tool to improve the Statistical Coding Efficiency." *IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, 2019, pp. 32-35. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2019.8779243>.
- [32] O. Yudin, V. Artemov, A. Krasnorutsky, V. Barannik, I. Tupitsya and G. Pris, "Creating a mathematical model for estimating the impact of errors in the process of reconstruction of non-uniform code structures on the quality of recoverable video images," *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2021): proceedings of the Intern. Conf.*, pp. 38-41. <https://doi.org/10.1109/ATIT54053.2021.9678887>.
- [33] V. Barannik, I. Tupitsya, I. Gurzhi, V. Barannik, S. Sidchenko, and O. Kulitsa, "Two-Hierarchical Scheme of Statistical Coding of Information Resource Data with Quantitative Clustering," *IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, 2019, pp. 89-92. <https://doi.org/10.1109/ATIT49449.2019.9030451>. Accessed: <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&image=12#top>.

Рекомендована кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 9.06.2022

Стасев Юрій Володимирович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри бойового застосування та експлуатації автоматизованих систем управління;

Тупиця Іван Михайлович — викладач кафедри бойового застосування та експлуатації автоматизованих систем управління, e-mail: ivan20081982@gmail.com ;

Пархоменко Максим Вікторович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри бойового застосування та експлуатації автоматизованих систем управління .

Харківський національний університет повітряних сил ім. І. Кожедуба, Харків

Yu. V. Stasev¹
I. M. Tupitsya¹
M. V. Parkhomenko¹

Method of Additional Reduction of Structural Excession of Code Representation Video Data

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

To date, significant development of information technology is aimed at improving existing algorithms and technologies for encoding video information resources. This is due to the constant increase in the amount of data transmitted in data channels, under the existing bandwidth constraints. In turn, the active use of wireless technologies for data transmission is accompanied by increasing demands on video information resources — a compact presentation of encrypted data while maintaining their integrity. To this end, a method of encoding video information resource data using the restructuring of the information space of encoded data is being developed. Restructuring of the information space means clustering of message elements. The tool for clustering is a quantitative feature — a sign of the number of series of units in the internal binary structure of the message elements. The essence of clustering is that elements with the same values of the number of series of units form clusters. Peculiarities of transformations of the laws of distribution of elements in the message due to the use of internal restructuring of data on a quantitative basis are investigated. The essence of the developed method of cluster statistical coding of video information resource data is that the coding of message elements occurs in the statistical space of sets formed in the clustering process. A distinctive feature of the method is to preserve the integrity of the encoded data in terms of providing additional reduction of the structural redundancy of the code representation of video data.

Keywords: transformation, restructuring, clustering, signs of the number of series of units, coding, video information resource data.

Stasev Yuri V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Combat Application and Operation of Automated Control Systems;

Tupitsya Ivan M. — Lecturer of the Chair of Combat Application and Operation of Automated Control Systems, e-mail: ivan20081982@gmail.com ;

Parkhomenko Maksym V. — Cand. Sc. (Eng.), Lecturer of the Chair of Combat Application and Operation of Automated Control Systems