

**В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф.**  
Харківський національний університет  
імені В. Н. Каразіна  
orcid.org/0000-0002-2848-4524  
e-mail: vvbar.off@gmail.com;

**А. О. Красноруцький, канд. техн. наук, с.н.с.**  
Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
orcid.org/0000-0001-9098-360X  
e-mail: Krasnorutsky.a@ukr.net;

**В. О. Колесник**  
Державний науково-дослідний інститут  
випробувань і сертифікації озброєння  
та військової техніки  
orcid.org/0000-0001-7919-4255  
e-mail: faer777sky@gmail.com;

**В. В. Твердохліб**  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки  
orcid.org/0000-0002-2996-9523  
e-mail: vitalii.tverdoklib@nure.ua

## МЕТОД КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМОВАНИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ В СТРУКТУРНО-КЛАСТЕРНОМУ ПРОСТОРИ

### Вступ

Організація інформаційного забезпечення для систем управління критичною інфраструктурою в сучасних умовах характеризується: залученням відеоінформаційних ресурсів як інформації, на основі якої здійснюється аналіз поточного стану, моніторинг об'єктів інтересу та прийняття рішень [1; 2]; використання для збору та передачі інформації дистанційних мобільних сенсорів на авіаційних платформах (роботизовані технології, безпілотні бортові комплекси (ББК)) [3; 4]. З одного боку це дозволяє створити умови для підвищення оперативності та доступності щодо можливості знімання інформації про об'єкти моніторингу [5; 6]. Але ж з іншого боку зростає інформаційне навантаження на канали передачі інформації [7; 8]. Це зумовлено збільшенням розмірів відеокадрів у разі підвищення висоти знімання та вимогами для проведення ефективного аналізу відеоінформації [9; 10]. Відповідно збільшуються вимоги щодо часових затримок на доставку відеоінформації та її достовірності [11; 12]. Згідно вимог системи QoS та стандартів

STANAG 4545:2013 [18], STANAG 4586: 2012 [19] потрібно забезпечити часову затримку в процесі передачі відео пакетів не більш ніж 10 – 100 мс, рівень достовірності за показником пікового відношення сигнал/шум не менш ніж 22 – 32 дБ (в залежності від призначення відеозображень та насиченості їх структурними деталями) [15; 16]. Для реалізації цих вимог потрібно задіяти комплекс технологічних складових. Сюди відноситься: збільшення швидкості передачі даних в бездротових телекомунікаційних мережах, зменшення бітових об'ємів інформації, яка передається мережами [13; 14]. Тут потрібно вирішувати питання стосовно збільшення ймовірності виникнення каналних помилок під час передачі даних каналами зв'язку та виникненням втрат інформації в процесі стиснення об'ємів відеозображень. Наведені суперечності призводять до зниження ефективності функціонування систем критичної інфраструктури. Тому забезпечення потрібного рівня оперативності доставки відеоінформації та її достовірності з використанням дистанційних бортових комплексів складає *актуальну та значиму науково-прикладну задачу.*

**Аналіз останніх досліджень**

Підвищення достовірності відеоінформації в процесі її передачі з бортових комплексів на центри аналізу та прийняття рішень можливо забезпечити шляхом використання технологій завадостійкого кодування [17; 20]. Водночас такий підхід супроводжується додатковим використанням надлишкових двійкових послідовностей, а отже збільшенням початкових об'ємів відеоданих. Відповідно зростає часова затримка на передачу інформації [25; 22]. Оцінювання таких затримок  $t_{tr}$  представлено у вигляді діаграм на рис. 1 та 2. Тут для обробки обирались відеознімки, які мають різний рівень насиченості структурними деталями, а саме: низько-, середньо- та високо-насичені. Розмір (кількість пікселів) відеокадрів відповідав форматам FullHD, 4K та 8K. Для моделі каналу з завадами обирався дискретно-симетричний канал з незалежною ймовірністю  $P(e)$  помилки в бітах кодограми. При цьому ймовірність виникнення бітових помилок приймається на рівні:  $P(e) = 10^{-4}$ ;  $10^{-5}$ . В якості завадостійкого кодування використовувалися стандартизовані підходи, що базуються на методах Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ) [23; 24], коди Ріда-Соломона [25, 26]. Аналіз даних діаграм в умовах різної швидкості передачі даних дозволяють зробити висновок стосовно того, що :

1) часові затримки щодо передачі відеоданих у компактному форматі їх представлення пере-

вищують потрібний рівень в середньому в 7–17 разів в залежності від рівня їх насиченості структурними деталями;

2) у випадку використання завадостійкого кодування оперативність доставки відеоінформації додатково знижується в середньому на 50 %;

3) збільшення часової затримки у разі підвищення ймовірності виникнення бітової помилки с  $P(e) = 10^{-5}$  до  $P(e) = 10^{-4}$  сягає 30 %, а саме:

- для  $S_{tr} = 5$  Мбіт/с та  $P(e) = 10^{-4}$  величина  $t_{tr}$  становить від 3 до 40 хв., а у разі  $P(e) = 10^{-5}$  - від 2,5 до 30 хв.;

- для  $S_{tr} = 40$  Мбіт/с та  $P(e) = 10^{-4}$  величина  $t_{tr}$  становить від 24 с до 5 хв., а у разі  $P(e) = 10^{-5}$  - від 18 с до 3,5 хв.

Зростання пропорційна залежність між часовою затримкою та ймовірністю виникнення бітових помилок обумовлено потребою у виявленні та виправленні більшої кількості помилок, а отже використання додаткової кількості двійкових кодів для корекції.

Зрозуміло, що навантаження на канал передачі даних буде надкритичним у разі потреби у доставці в реальному часі відеопотоку з високим рівнем візуальної якості сприйняття.

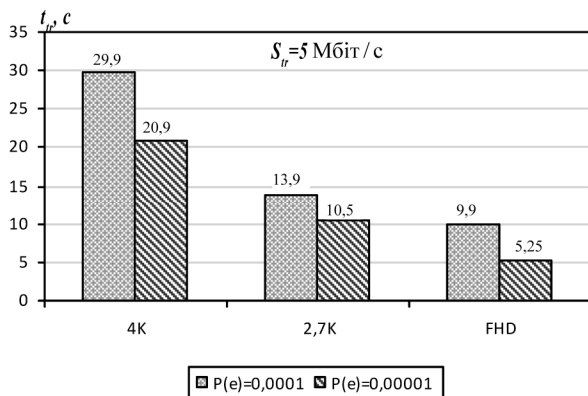


Рис. 1. Діаграма залежності величини  $t_{tr}$  від  $V_{beg}$  та  $P(e)$  для  $S_{tr} = 5$  Мбіт/с

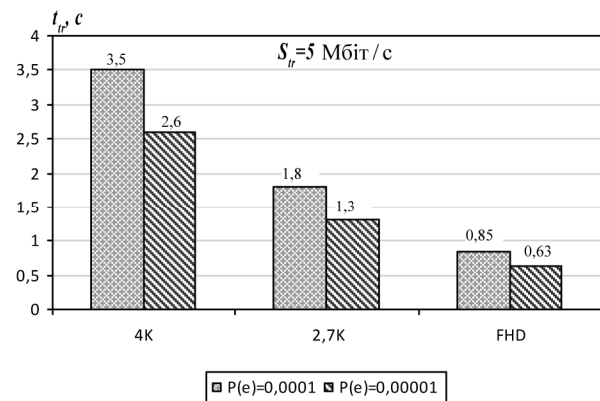


Рис. 2. Діаграма залежності величини  $t_{tr}$  від  $V_{beg}$  та  $P(e)$  для  $S_{tr} = 40$  Мбіт/с

**Постановка проблеми**

Отже можна стверджувати те, що найбільш ваговою складовою для забезпечення ефективності доставки відеоінформації з використанням бортових платформ її реєстрації є технології стиснення.

Сучасні технології стиснення відеозображень є комплексними та базуються на послідовності етапів обробки, яка направлена на створення умов й скорочення різних видів надмірності.

Поширеною технологією є платформа JPEG [27; 28]. Базовим тут є трансформація відеосегментів до спектрального простору з послідовним скороченням психовізуальної та статистичної надмірності. При цьому існує пропорційна залежність між скороченням кількості психовізуальної надмірності та створенням переважних умов для усунення кількості статистичної надмірності [29; 30]. З одного боку це дозволяє збільшити ступень стиснення відеокадрів, але ж з іншого боку виникають втрати достовірності інформації.

Тому потрібно створювати такі системи кодування, для яких забезпечується можливість підвищення ступеня стиснення в умовах найменшого врахування психовізуальних особливостей трансформованих відеосегментів. Звідки **мета статті** полягає у розробці методів кодування трансформованих відеозображень для збільшення рівня їх стиснення в умовах забезпечення потрібної достовірності

**Створення методу синтаксичного уявлення значимих сегментів, мікросегменти яких мають суттєвий рівень структурно-статистичної насиченості**

Одним з підходів до вдосконалення технологій кодування трансформованих відеосегментів є використання їх попередньої кластеризації [29; 30]. В цьому випадку за рахунок перерозподілу компонент трансформант за кластерами створюються умови для:

- 1) прямування закону розподілу частоти появи компонент в межах кластеру до нерівномірного;
- 2) розподілу потужності трансформанти по кластерам та отже зменшення впливу префіксності на зріст довжини нерівномірних кодограм;
- 3) використання потенційної можливості використання для кодування кластеризованих компонент кодових конструкцій рівномірної довжини, що відповідно підвищує їх стійкість до впливу каналних завад;
- 4) появи властивостей щодо стаціонарності статистичних моделей в межах кластерів для послідовності трансформант, що дозволяє потенційно скоротити кількість біт, яке витрачається на кодове представлення службової інформації.

Для кластеризації трансформанти пропонується використовувати концепцію структуризації загального двійкового простору  $\Omega_\ell$ , яка була запроваджена в таких працях, як [29]. Згідно чого простір  $\Omega_\ell$  ділиться на  $\Theta$  структурних підмножин  $\Omega(\theta)_\ell$ , які не перетинаються між собою. Склад та об'єм  $|\Omega(\theta)_\ell|$  кожної структурної підмножини визначається кількістю допустимих двійкових послідовностей. Двійкова послідовність належить підмножині  $\Omega(\theta)_\ell$ , якщо вона містить кількість серій одиниць, що дорівнює  $\theta$ . Тоді для  $\ell$ -бітних двійкових послідовностей величина  $\Theta$  дорівнює  $\Theta = [(\ell + 1)/2] + 1$ . Тому маємо:

$$\Omega_\ell = \bigcup_{\theta=0}^{[(\ell+1)/2]+1} \Omega(\theta)_\ell, \quad \Omega(\ell; \gamma) \cap \Omega(\ell; \chi) = \emptyset. \quad (1)$$

Відповідно величина  $|\Omega(\theta)_\ell|$  визначається за формулою  $|\Omega(\theta)_\ell| = (\ell + 1)! / (2 \cdot \theta)! \cdot (\ell + 1 - 2 \cdot \theta)!$ .

Звідки **пропонується** кластеризувати трансформанту  $Y(u)$ ,

$$Y(u) = \{y(u)_{i,j}\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n},$$

з врахуванням кількості  $\theta$  серій одиниць в двійковому синтаксичному описі  $[y(u)_{i,j}]_2$  їх компонент  $y(u)_{i,j}$ . Відповідно компоненти, які мають  $\theta$  серій одиниць в своєму двійковому представленні відносяться до структурного кластеру  $Y(u; \theta)$  [29] та [31]:

$$y(u)_{i,j} \in Y(u) \rightarrow y(u; \theta; g)_{i,j} \in Y(u; \theta),$$

якщо  $\theta = \varphi_{\det}([y(u)_{i,j}]_2)$ .

Тут  $Y(u)$  - трансформований відеосегмент (трансформанта), що розташовано на  $u$ -й позиції в макросегменті;  $y(u)_{i,j}$  -  $(i; j)$ -я компонента  $u$ -ї трансформанти;  $n$  - лінійний розмір відеосегменту (кількість рядків або кількість стовпців у відеосегменті);  $\varphi_{\det}([y(u)_{i,j}]_2)$  - функціонал, який встановлює кількість серій одиниць у двійковому описі  $[y(u)_{i,j}]_2$  компоненти  $y(u)_{i,j}$ , тобто:  $\theta = \varphi_{\det}([y(u)_{i,j}]_2)$ ;  $[y(u; \theta; g)_{i,j}]_2$  -  $g$ -й елементів кластеру  $Y(u; \theta)$ , який містить кількість серій одиниць, що дорівнює  $\theta$ ;  $Y(u; \theta)$  -  $\theta$ -й структурний кластер для  $u$ -ї трансформанти, тобто кластер, який утворюється компонентами  $[y(u; \theta; g)_{i,j}]_2$ :

$$Y(u; \theta) = \{y(u; \theta; 1)_{i,j}; \dots;$$

$$y(u; \theta; g)_{i,j}; \dots; y(u; \theta; G(\theta))_{i,j}\}.$$

Передбачається, що така трансформанта отримана після квантування діапазону значень її компонент  $y(u)_{i,j}$ . Отже усунено деяка кількість психовізуальної надмірності. Звідки для збереження потрібного рівня достовірності потрібно організувати послідовну обробку компонент  $y(u)_{i,j}$  трансформанти  $Y(u)$  без внесення спотворень. Найбільш апробованим тут підходом є використання статистичного кодування компонент трансформант [31].

В цьому випадку за допомогою функціоналу  $\varphi_{cluster}([y(u)_{i,j}]_2; \theta)$  вся сукупність компонент  $y(u)_{i,j}$  трансформанти  $Y(u)$  розподіляється за множинами  $Y(u; \theta)$ , які не перетинаються, тобто  $Y(u; \theta) \cap Y(u; \alpha) = \emptyset$ , де  $\theta \neq \alpha$ . Такі множини визначаються, як структурні кластери (СК)  $Y(u; \theta)$ . Кожен з таких кластерів  $Y(u; \theta)$  ідентифікується за значенням структурної ознаки

$\theta$  - кількість серій одиниць в двійковому синтаксичному описі  $[y(u)_{i,j}]_2$  компоненти  $y(u)_{i,j}$ . Відповідно розподіл (кластеризація) компонент  $y(u)_{i,j}$  трансформанти за СК здійснюється за структурною ознакою  $\theta$  її двійкового опису, а саме :

$$\Phi_{cluster}([y(u)_{i,j}]_2; \theta) : y(u)_{i,j} \rightarrow y(u; \theta; g)_{i,j}$$

або  $y(u; \theta; g)_{i,j} \in Y(u; \theta)$ , якщо  $\alpha = \theta$ .

Тут  $y(u; \theta; g)_{i,j}$  -  $(i; j)$ -я компонента  $y(u)_{i,j}$  після її кластеризація, тобто після визначення її належності до одного з кластерів  $Y(u; \theta)$ . Отже в свою чергу  $y(u; \theta; g)_{i,j}$  - є  $g$ -м елементом (допустимою двійковою послідовністю  $[y(u; \theta; g)_{i,j}]_2$ )  $\theta$ -го структурного кластеру  $Y(u; \theta)$ .

Максимальна кількість  $\theta(\max)$  структурних кластерів  $Y(u; \theta)$  позначається, як **номінальна кількість** СК, та визначається кількістю  $\Theta$  значень, яке приймає структурна ознака  $\theta$ . В

нашому випадку структурна ознака, а саме кількість серій одиниць в двійкових послідовностях  $[y(u; \theta; g)_{i,j}]_2$  залежить від їх довжини  $\ell(u)_{i,j}$ . Для практичної реалізації процесу обчислень довжина  $\ell(u)_{i,j}$  двійкового опису компонент  $y(u)_{i,j}$  трансформанти  $Y(u)$  перед початком кодування обирається рівномірною та такою, що дорівнює  $\ell$  біт, тобто:

$$\ell y(u)_{1,1} = \dots \ell(u)_{i,j} = \dots = \ell(u)_{n,n} = \ell.$$

Тоді величина  $\Theta$  знаходиться за формулою [29] :  $\Theta = [(\ell + 1) / 2] + 1$ . Звідки для визначення максимально можливої кількості  $\theta(\max)$  СК маємо:

$$\theta(\max) = \Theta = [\ell + 1 / 2] + 1.$$

Процес визначення належності компоненти  $y(u)_{i,j}$  до одного з кластерів  $Y(u; \theta)$  представлено на рис. 3.

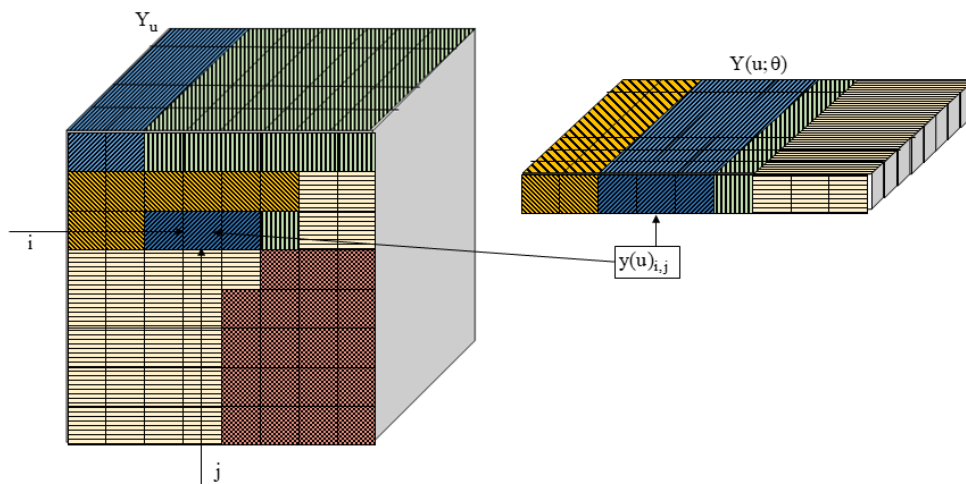


Рис. 3. Процес визначення належності компоненти  $y(u)_{i,j}$  до одного з кластерів  $Y(u; \theta)$

Тут показано, що кластеризовану компоненту  $y(u; \theta; g)_{i,j}$  одночасно можна розглядати, як:

- $g$ -й елемент  $\theta$ -го структурного кластеру  $Y(u; \theta)$ ;
- $(i; j)$ -у компоненту  $u$ -ї трансформанти  $Y(u)$ .

Для поточного трансформованого відеосегменту  $Y(u)$  може формуватися кількість кластерів, що дорівнює величині  $v(u)_{cluster}$ . При цьому в загальному випадку між кількістю кластерів  $v(u)_{cluster}$  для поточної  $u$ -ї трансформанти та номінальною кількістю  $\Theta$  структурних кластерів виконується нерівність:

$$v(u)_{cluster} \leq \Theta.$$

Дійсно, в квантованій трансформанті в загальному випадку будуть міститися компоненти, двійковий опис яких буде характеризуватись обмеженою кількістю серій одиниць. Припустимо, що мінімальне та максимальне значення величини  $\theta$  для  $u$ -го трансформованого відеосегменту  $Y(u)$  дорівнює відповідно  $\theta(u)_{\min}$ ,  $\theta(u)_{\max}$ , де:

$$\theta(u)_{\min} \geq 0, \text{ та } \theta(u)_{\max} \leq \Theta.$$

$$\text{Тоді } v(u)_{cluster} = \theta(u)_{\max} - \theta(u)_{\min}.$$

Тоді враховуючи те, що СК не перетинаються, то трансформований відеосегмент  $Y(u)$  в кластеризованому вигляді  $Y(v(u)_{cluster})$  описується виразом:

$$Y(u) \xrightarrow{\varphi_{cluster}([y(u)_{i,j}]_2; \theta)} Y(v(u)_{cluster}) = \bigcup_{\theta=\theta(u)_{min}}^{\theta(u)_{max}} Y(u; \theta),$$

$$Y(v(u)_{cluster}) = \underbrace{\{Y(u; \theta_{min}^{(u)}); \dots; Y(u; \theta); \dots; Y(u; \theta_{max}^{(u)})\}}_{v(u)_{cluster}},$$

або

Варіант кластеризації трансформанти на сукупність СК представлено на рис. 4.

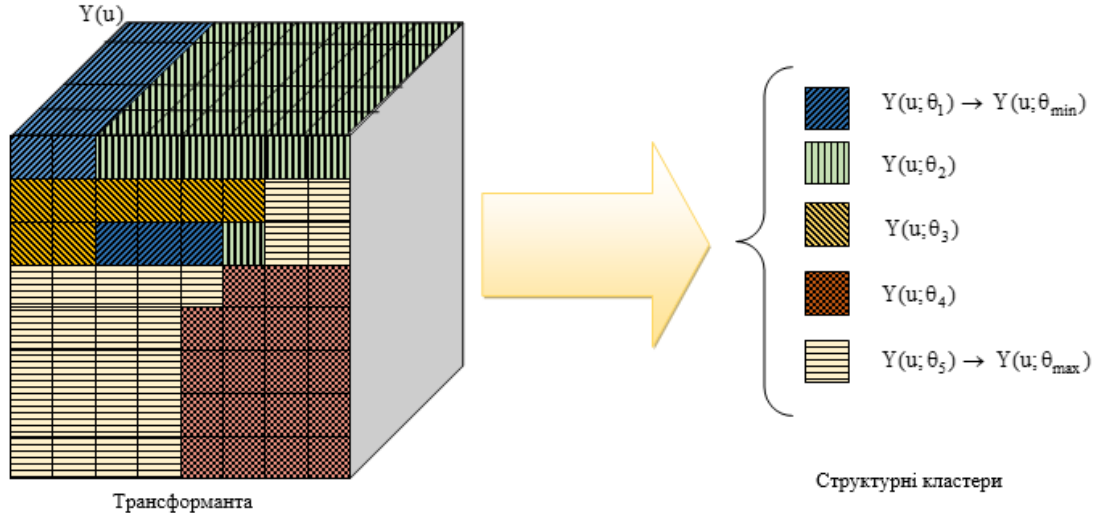


Рис. 4. Кластеризація трансформанти на сукупність СК

Кількість  $|Y(u; \theta)|$  належних (допустимих) елементів  $\theta$ -го структурного кластеру для  $u$ -ї трансформанти знаходиться як кількість  $G(u; \theta)$  кластеризованих компонент  $y(u; \theta; g)_{i,j}$ :

$$G(u; \theta) = |Y(u; \theta)|,$$

для двійкового опису  $[y(u; \theta; g)_{i,j}]_2$  яких значення структурної ознаки (кількості серій одиниць) дорівнює  $\theta$ , тобто:

$$y(u; \alpha; g)_{i,j} \in Y(u; \theta), \text{ якщо } \alpha = \theta.$$

Величина  $G(u; \theta)$  позначається, як об'єм кластеру  $Y(u; \theta)$ .

Відповідно сукупність величин  $G(u; \theta)$ ,  $\theta = \overline{\theta(u)_{min}; \theta(u)_{max}}$  визначає кількість  $|Y(u)|$  компонент в трансформанті, а саме:

$$|Y(u)| = n^2 = \sum_{\theta=\theta(u)_{min}}^{\theta(u)_{max}} G(u; \theta).$$

Структурний кластер містить два типи елементів. Перший тип – елементи, які на рівні компонент мають різні значення. Такі елементи позначаються, як опорні, а саме:

$$y'(u; \theta; \chi)_{i,j} \neq y'(u; \theta; \gamma)_{i,j},$$

де  $\alpha = \beta = \theta$  та  $\gamma \neq \chi$ .

Кількість  $D(u; \theta)$  таких компонент  $y'(u; \theta; g)_{i,j}$  позначається як *реалістична* потужність  $\theta$ -го структурного кластеру для  $u$ -ї трансформанти.

Другий тип це елементи, які мають на компонентному рівні однакові значення з одним з опорних елементів поточного кластеру, тобто:

$$[y(\theta; \chi)_{i,j}^{(u)}]_2, [y(\theta; \gamma)_{i,j}^{(u)}]_2 \in Y(u; \theta)$$

$$\text{та } y(u; \theta; \chi)_{i,j} = y(u; \theta; \gamma)_{i,j}.$$

Кількість елементів кластеру, які мають однакові значення на рівні компонент  $y'(u; \theta; g)_{i,j}$  з опорним елементом позначається, як *частіть*  $v(u; \theta; g)_{i,j}$  появи компоненти у  $\theta$ -му СК.

Зрозуміло, що для поточного відеосегменту кластеризованого в спектральному просторі виконується умова:

$$D(u; \theta) \leq G(u; \theta).$$

Сукупність компонент  $y'(u; \theta; d)_{i,j}$ , які належать до  $\theta$ -го структурного кластеру та мають різні значення *пропонується* позначати, як  $Y'(u; \theta)$ .

Для відомих  $D(u; \theta)$  та  $\{v(u; \theta; d)_{i,j}\}$ ,  $d = \overline{1, D(u; \theta)}$  сумарна кількість  $G(u; \theta)$  компонент в  $\theta$ -му СК знаходиться за допомогою формули:

$$G(u; \theta) = \sum_{d=1}^{D(u; \theta)} v(u; \theta; d)_{i,j}$$

Максимально можлива кількість  $D(\theta)_\ell$  елементів  $[y(u; \theta; g)_{i,j}]_2$  в кластері  $Y(u; \theta)$ , що мають різні значення в десятковому описі  $y(u; \theta; g)_{i,j}$  визначається, як **номінальна потужність**  $D(\theta)_\ell$  для  $\theta$ -го структурного кластеру. Номінальна потужність не залежить від змісту трансформант. Натомість вона залежить від таких величин: довжина  $\ell$  двійкових послідовностей та кількість  $\theta$  серій одиниць. Величина  $D(\theta)_\ell$  визначається за формулою [29]:

$$D(\theta)_\ell = (\ell + 1)! / (2 \cdot \theta)! \cdot (\ell + 1 - 2 \cdot \theta)!$$

Величину  $D(\theta)_\ell$  також називають, як об'єм алфавіту кластеру  $Y(u; \theta)$ . Сукупність таких компонент, тобто максимально допустима кількість різних за змістом двійкових послідовностей з однаковою кількістю  $\theta$  серій одиниць утворює **структурну множину**  $\Omega(\theta)_\ell$  за кількістю  $\theta$  серій одиниць. Відповідно об'єм  $|\Omega(\theta)_\ell|$  множини  $\Omega(\theta)_\ell$  дорівнює величині  $D(\theta)_\ell$ , тобто:  $|\Omega(\theta)_\ell| = D(\theta)_\ell$ .

Зрозуміло, що в загальному випадку між реалістичною  $D(u; \theta)$  та номінальною  $D(\theta)_\ell$  потужностями СК виконується нерівність:  $D(u; \theta) \leq D(\theta)_\ell$ .

Після чого формується статистична модель структурного кластеру. Наявність такої моделі дозволяє здійснити скорочення відповідної кількості надмірності. Для цього можна використувати один з методів статистичного кодування [31].

Зменшення бітового об'єму відеосегментів досягається за рахунок усунення кількості надмірності різних типів (на різних технологічних етапах створеного процесу обробки відеосегменту), а саме: статистична – в процесі концентрації енергії шляхом виконання дискретного косинусного перетворення; психовізуальна надмірність – в процесі квантування компонент трансформанти; структурно-статистична – в процесі статистичного кодування в межах структурних кластерів.

### Висновки

1. Обґрунтовано, що напрямком подальшого вдосконалення технологій кодування трансформованих відеосегментів стосується в їх структурній кластеризації за ознакою змісту двійкового опису їх компонент – кількість серій одиниць. Це дозволяє в умовах збереження структурних особливостей трансформанти додатково виявити можливості для скорочення статистичної надмірності. При цьому не висувуються вимоги щодо усунення кількості психовізуальної надмірності.

2. Створено метод кодування трансформованих відеосегментів в структурному просторі. Відмінностями методу стосуються:

1) прямування закону розподілу частоти появи компонент в межах кластеру до нерівномірного;

2) розподілу потужності трансформанти по кластерам та отже зменшення впливу префіксності на зріст довжини нерівномірних кодограм;

3) використання потенційної можливості використання для кодування кластеризованих компонент кодових конструкцій рівномірної довжини, що відповідно підвищує їх стійкість до впливу каналних завад;

4) появи властивостей щодо стаціонарності статистичних моделей в межах кластерів для послідовності трансформант, що дозволяє потенційно скоротити кількість біт, яке витрачається на кодове представлення службової інформації.

3. Зменшення бітового об'єму відеосегментів досягається за рахунок усунення кількості надмірності різних типів (на різних технологічних етапах створеного процесу обробки відеосегменту), а саме: статистична – в процесі концентрації енергії шляхом виконання дискретного косинусного перетворення; психовізуальна надмірність – в процесі квантування компонент трансформанти; структурно-статистична – в процесі статистичного кодування в межах структурних кластерів.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Бурячок В. Л., Гулак Г. М., Хорошко В. О. Завдання, форми та способи ведення воєн у кібернетичному просторі. *Наука і оборона*. 2011. № 3. С. 35–42.
- [2] Бурячок В. Л. Основи формування державної системи кібернетичної безпеки: Монографія. К.: НАУ, 2013. 432 с.
- [3] Баранник В. В., Власов А. В. Обоснование значимых (актуальных) угроз безопасности видеoinформационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления. Информационно – управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2014. № 3. С. 107–114.
- [4] Chen T.-H., Wu Ch.-S. Efficient multi-secret image sharing based on Boolean operation. *Signal Processing*. 2011. Vol. 91, Iss. 1. P. 90–97. DOI: 10.1016/j.sigpro.2010.06.012.
- [5] Barannik V., Shulgin S., Krasnorutsky A., Slobodyanyuk O., Gurzhi P., Korolyova N. Methodological Fundamentals of Deciphering Coding of Aerophotography Segments on Special Equipment of Unmanned Complex. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020): proceedings IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference*. 2020. P. 38–43. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349257.

- [6] Barannik V. Technology for Protecting Video Information Resources in the Info-Communication Space. *Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*: proceedings IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference. 2020. P. 29–33. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349324
- [7] Barannik V., Sidchenko S., Barannik N., Barannik V. Development of the method for encoding service data in cryptocompression image representation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*. 2017. Vol. 3. № 9 (111). P. 112–124.
- [8] Belikova T. Decoding Method of Information-Psychological Destructions in the Phonetic Space of Information Resources. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of the 2nd IEEE International Conference, 2020. P. 87–91. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349300>.
- [9] Tsai Ch.-L., Chen Ch.-J., Hsu W.-L. Multi-morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. *Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*: proceedings of the IEEE International Conference. 2012. P. 135–139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
- [10] Tatyana Belikova, Albert Lekakh, Oleksii Dovbenko, Oleksandr Dodukh. Method of Increasing the Capacity of Information Threat Detection Filters in Modern Information and Communication Systems. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT 2019)*: proceedings of the IEEE 3rd International Conference, 2019. P. 426–429. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847754.
- [11] Wong K. W. Image encryption using chaotic maps. *Intelligent Computing Based on Chaos*. 2009. Vol. 184. P. 333–354. DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4\_16.
- [12] Vladimir Barannik, Victoriya Himenko, Natalia Barannik, Vitaliy Tverdokhlib, Yuri Babenko Method of coding dynamic sequence of frame-spline structures of provided frames in info-communications. *IEEE 4rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (IEEE AICT 2021)*. 2021. P. 414–418
- [13] Kurihara K., Watanabe O., Kiya H. An encryption-then-compression system for JPEG XR standard. *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*: proceedings of the IEEE International Symposium, 2016. P. 1–5. DOI: 10.1109/BMSB.2016.7521997.
- [14] Zhou J., Liu X., Au O. C., Tang Y. Y. Designing an Efficient Image Encryption-Then-Compression System via Prediction Error Clustering and Random Permutation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2014. Vol. 9, No. 1. P. 39–50. DOI: 10.1109/TIFS.2013.2291625.
- [15] Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000 [Text]. International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T.807, 2007. 108 p.
- [16] Barannik V. Babenko Yu., Kulitsa O., Barannik V., Khimenko V., Matviichuk-Yudina O. Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*: proceedings of IEEE 2nd International Conference, 2020. P. 52–56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [17] Odarchenko Roman, Gnatyuk Viktor, Gnatyuk Sergiy, Abakumova Anastasiia. Security key indicators assessment for modern cellular networks. *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*: proceedings of the IEEE First International Conference, 2018. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516889>.
- [18] 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. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
- [19] Minemura K., Moayed Z., Wong K., Qi X., Tanaka K. JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. *Image Processing: proceedings of the 19 th IEEE International Conference*, 2012. P. 261–264. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2012.6466845>.
- [20] Barannik V., Barannik V., Havrylov D., Sorokun A. Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT 2019)*: proceedings of the 3rd International Conference, 2019. P. 54–57. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847897.
- [21] Barannik Valeriy. Fast Coding of Irregular Binary Binomial Numbers with a Set Number of Units Series. *Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*: proceedings of the IEEE 2nd International Conference, 2020. P. 72–76. <https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349356>.
- [22] Barannik D. Stegano-Compression Coding in a Non-Equalible Positional Base. *Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*: proceedings of the IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference, 2020. P. 83–86. <https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349328>.
- [23] Barannik V., Barannik N., Barannik D. 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 15 th IEEE International Conference, 2020. P. 699–702. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235522>.
- [24] Barannik V., Belikova T., Gurchii P. The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019)*: proceedings of the IEEE International Conference, 2019. P. 656–661. <https://doi.org/10.1109/ATIT49449.2019.9030432>.

- [25] Barannik V. V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (IEEE TCSET 2008): proceedings of IEEE International Conference, 2008. P. 378–380.
- [26] Barannik V., Hahanova A., Slobodyanyuk A. Architectural presentation of isotopic levels of relief of images. Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): proceedings of IEEE 10th International Conference, 2009. P. 385–387.
- [27] Komolov D., Zhurbynskyy D., Kulitsa O. Selective Method For Hiding Of Video Information Resource In Telecommunication Systems Based On Encryption Of Energy-Significant Blocks Of Reference I-Frame. Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2015): proceedings of 1st International Conference. 2015. P. 80–83.
- [28] Barannik V., Jancarczyk D., Babenko Yu., Stepanko O., Nikodem J., Zawislak S. A 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. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IDAACS-SWS50031.2020.9297068>.
- [29] Баранник В. В., Хаханова А. В. Оценка информативности двоичных массивов на основе комбинаторного подхода. Системы обработки информации. зб. наук. пр. Харк. ун-та повітр. сил. 2008. Вип. 6. С. 11–13.
- [30] Vladimir Barannik, Andrii Krasnorutsky, Roman Onyshchenko, Sergii Shulgin, Oleksandr Slobodyanyuk Marker Information Coding for Structural Clustering of Spectral Space. IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2021), 2021, pp. 46–51. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678538.
- [31] Баранник В. В., Красноручий А. О., Пасинчук К. М., Бабенко Ю. М., Степанко О. С. and Гпитса І. М. A Method for Restructuring Video Data in Compressed Coding Systems to Increase Reliability. Visnyk NTUU KPI Seria – Radiotekhnika Radioaparato-buduvannya. 2022. Vol. 88, pp. 50–59. DOI: 10.20535/RADAP.2022.88.50-59.

**Баранник В.В., Красноручий А. О., Колесник В.О., Твердохліб В.В.  
МЕТОД КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМОВАНИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ В СТРУКТУРНО-КЛАСТЕРНОМУ ПРОСТОРИ**

*У статті приводиться загальний опис проблематики інформаційного забезпечення для систем управління критичною інфраструктурою в сучасних умовах з застосуванням дистанційних мобільних сенсорів на авіаційних платформах. Підґрунтям тут виступає дисбаланс між достовірністю отриманої інформації та оперативністю її отримання враховуючи бортові канали передавання відеоданих. Обґрунтовуються зростання інформаційного навантаження на канали передачі інформації про об'єкти моніторингу. Стисло наведені вимоги щодо часових затримок на доставку відеоінформації та її достовірності згідно вимог системи QoS та стандартів STANAG 4545:2013, STANAG 4586: 2012. Запропоновано напрямок реалізації таких вимог шляхом вирішення питання стосовно збільшення ймовірності виникнення каналних помилок під час передачі даних каналами зв'язку та виникненням втрат інформації в процесі стиснення об'ємів відеозображень. Стисло розкриваються недоліки існуючих технологій завадостійкого кодування що дозволяють підвищити достовірність відеоінформації в процесі її передачі. А також розкриваються недоліки існуючих технологій зниження інформаційної інтенсивності відеоданих.*

*Серед таких недоліків: додаткове використання надлишкових двійкових послідовностей, а отже збільшенням початкових об'ємів відеоданих; виграш по оперативності компенсується руйнуванням семантичної складової відеозображення, а отже підвищуються ризики втрати достовірності інформації. Вирішення дисбалансу доставки відеоданих пропонується вирішити за рахунок розробки методів кодування трансформованих відеозображень для збільшення рівня їх стиснення в умовах забезпечення потрібної достовірності. Обґрунтовано вдосконалення технологій кодування трансформованих відеосегментів шляхом використання їх попередньої кластеризації. з врахуванням кількості серій одиниць в двійковому синтаксичному описі компонент трансформанти. Пропонується метод формування структурних кластерів кластеризованих компонент трансформанти за ознакою змісту їх двійкового опису – кількість серій одиниць. Викладено основні етапи розробленого методу кодування трансформованих відеосегментів в структурному просторі.*

**Ключові слова:** відеозображення, компресія, квантування, інформаційна інтенсивність, структурний кластер, кластеризований елемент.



**Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnyk V., Tverdokhlib V.**

**A METHOD OF CODING TRANSFORMED VIDEO IMAGES IN STRUCTURE-CLUSTER SPACE**

*The article provides a general description of the problems of information support for critical infrastructure management systems in modern conditions using remote mobile sensors on aviation platforms. The basis here is the imbalance between the reliability of the information received and the speed of its receipt, taking into account the on-board video data transmission channels. The increase in the information load on the channels of information transmission about the objects of monitoring is justified. The requirements for time delays for the delivery of video information and its reliability in accordance with the requirements of the QoS system and the standards STANAG 4545: 2013, STANAG 4586: 2012 are briefly given. The direction of implementation of such requirements is proposed by resolving the issue of increasing the likelihood of channel errors during data transmission through communication channels and the occurrence of information losses in the process of compressing the volumes of video images. The disadvantages of existing noise-resistant coding technologies are briefly revealed, which make it possible to increase the reliability of video information in the process of its transmission. And also reveals the shortcomings of existing technologies for reducing the information intensity of video data. Among these disadvantages are: the additional use of redundant binary sequences, and therefore an increase in the initial volumes of video data; the gain in efficiency is compensated by the destruction of the semantic component of the video image, and therefore the risks of loss of reliability of information increase. Solving the imbalance of video data delivery is proposed to be solved by developing methods for encoding transformed video images to increase their compression in conditions of ensuring the required reliability. The improvement of coding technologies for transformed video segments through the use of their preliminary clustering is justified. taking into account the number of series of units in the binary syntactic description of the components of the transformer. The method of formation of structural clusters of clustered components of transforms is proposed on the basis of the content of their binary description – the number of series of units. The main stages of the developed method of coding transformed video segments in the structural space are outlined.*

**Keywords:** video image, compression, quantization, information intensity, structural cluster, clustered element.

Стаття надійшла до редакції 18.08.2022 р.

Прийнято до друку 12.09.2022 р.