

Метод реструктуризації відеоданих в системах компресійного кодування для підвищення достовірності

Бараннік В. В.¹, Красноруцький А. О.³, Пасинчук К. М.⁴, Бабенко Ю. М.²,
Степанко О. С.³, Тупица І. М.²

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна

² Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

³ Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, м. Харків, Україна

⁴ Національний університет цивільного захисту, м. Харків, Україна

E-mail: v.v.barannik@karazin.ua

Предметом досліджень в статті є процеси обробки відеозображення з застосуванням ортогонального перетворення для передачі даних у інформаційно-телекомунікаційних мережах. Виконаний аналіз відомих алгоритмів кодування відеоінформації, що активно використовують статистичний підхід для компактного представлення кодованих даних. **Метою** є розробка методу реструктуризації даних відеоінформаційного ресурсу в системах компресійного кодування для підвищення достовірності інформації. Що дозволить при збереженні структурно-статистичної закономірності та контрольованої втрати якості, забезпечити локалізацію впливу помилок та запобігти руйнування відеоданих при реконструкції відеоданих. **Завдання:** розробити метод реструктуризації даних інформаційного ресурсу з використанням структурних закономірностей в двійковій послідовності, якою задаються дані відеоінформаційного ресурсу; провести аналіз ефективності застосування розробленого методу реструктуризації відеоданих за кількісною ознакою з позиції створення умов для додаткового скорочення структурної надмірності кодового подання; провести аналіз ефективності застосування розробленого методу реструктуризації інформаційного простору з позиції підвищення рівня достовірності. Представлено **рішення наукової задачі**, спрямованої на розробку методів підвищення достовірності компактно представлених відеозображень в інформаційно-телекомунікаційних мережах для систем аеросегменту. Отримані **наступні результати:** використання розробленого методу реструктуризації відеоданих за ознакою кількості серій одиниць дозволяє створити умови додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення інформації за рахунок суттєвого скорочення потужності інформаційного простору, в межах якого кодуються дані; забезпечуються умови для локалізації дії помилок в процесі реконструкції відеоінформаційних ресурсів; створюються умови для скорочення часу на обробку даних, в зв'язку з тим, що розроблений метод реструктуризації даних не вимагає проведення перетворень над елементами повідомлення.

Ключові слова: відеоінформаційний ресурс; реструктуризація; кількісна ознака; кодування; достовірність; канал зв'язку

DOI: [10.20535/RADAP.2022.88.50-59](https://doi.org/10.20535/RADAP.2022.88.50-59)

Вступ. Постановка проблеми

Сучасні алгоритми кодування відеоінформації активно використовують статистичний підхід для компактного представлення кодованих даних [1–4]. Так, наприклад, у алгоритмах сімейства JPEG з цією метою реалізований синтез методу групового кодування та кодів Хаффмана [5–8]. Проте в умовах використання для доставки відеоінформації бездротових каналів зв'язку виникають проблемні фактори, які характеризуються наявністю впливу поміх (завад) [9–12]. Це призводить до суттєвих

недоліків, що виникають при реконструкції відеозображень, в умовах дії помилок в каналах передачі даних, з позиції забезпечення відповідного рівня достовірності, а саме [13–16]:

- відеоінформаційний ресурс (ВІР) може бути отриманий зі значною затримкою, що призводить до втрати його актуальності;

- часткове (але в більшості випадків повне) руйнування відеоінформаційного ресурсу [17, 18];

- неможливість ідентифікації об'єктів відеозображень, що несуть семантичне навантаження [19–22].

Таким чином, використання статистичного підходу (нерівномірних кодових конструкцій) при формуванні вихідної кодової послідовності хоч і дозволяє компактно представити кодовані відеодані, проте не забезпечує потрібний рівень достовірності в умовах дії помилок в каналах передачі даних.

1 Аналіз останніх досліджень і публікацій

Результати досліджень впливу помилок в процесі реконструкції на достовірність даних ВІР свідчать про те, що методи компресійного кодування, які використовуються в існуючих алгоритмах стиснення відеоінформації не дозволяють забезпе-

чити відповідний рівень достовірності [23–27]. Це пов'язано з тим, що використання зазначених методів кодування не дозволяє локалізувати вплив помилок, а призводить до лавинного ефекту, внаслідок чого відбувається руйнування відеоданих [28–32]. Так на Рис. 1 наведені результати реконструкції прикладів зображень у форматі JPEG, які відрізняються за ступенем насиченості, з використанням моделювання помилок в процесі реконструкції відеоінформації при передачі в дискретному симетричному каналі без пам'яті.

Поняття насиченості пов'язано з кореляцією елементів (пікселів), з яких складається зображення. Так до сильно насиченого відносять зображення з міжелементною кореляцією 0,5, до слабонасичених така кореляція дорівнює 0,9 [33, 34].



Рис. 1. Результати реконструкції різних за ступенем насиченості зображень при заданому рівні помилок в дискретному симетричному каналі передачі без пам'яті: а) слабонасичене; б) середньонасичене; в) сильнонасичене

Аналіз результатів реконструкції зображень, наведених на Рис. 1, свідчить про те, що виникнення помилок в каналі передачі даних при реконструкції зображення призводить до наступних наслідків:

– при рівні помилок $P(\varepsilon) = 10^{-4}$ в каналі передачі даних відбувається руйнування даних відеоінформаційного ресурсу для кожного з досліджуваних прикладів (різних за ступенем насиченості зображень). Це пов'язано з тим, що дія помилок має лавинний ефект;

– при рівні помилок $P(\varepsilon) = 10^{-5}$ в каналі передачі даних відбувається повне руйнування слабонасиченого зображення (варіант а) на Рис. 1). В свою чергу для середньо- та сильнасиченого зображень дія помилок призводить до часткового руйнування (зсуву елементів) (варіанти б), в) на Рис. 1).

Для кількісної оцінки достовірності відеоінформації використовуються такі показники, як:

– величина відносної кількості $K'_{\text{рм}}$ спотворених пікселів, що впливають на якість візуального сприйняття відеозображень у разі помилок в каналах передачі даних;

– пікове відношення сигнал/шум (PSNR) (середньоквадратичний показник рівня відхилення відновленого відеозображення щодо початкового. Цей показник також враховує спотворення між відповідними пікселями початкового та відновленого відеозображень.

Слід зазначити, що для існуючих методів компресійного кодування, які активно використовуються у алгоритмах стиснення відеоінформації, моделювання зазначеного рівня помилок в каналі передачі даних призводить до спотворення більшості пікселів відеозображень. Величина $K'_{\text{рм}}$ наближається до 100%, тобто $K'_{\text{рм}} \rightarrow 100\%$. Це пов'язано з тим, що використання зазначених методів компресійного кодування даних відеоінформаційного ресурсу не дозволяє локалізувати дію помилок, а призводить до лавинного ефекту, тобто руйнування відеоінформації в процесі реконструкції.

Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень свідчить про те, що використання існуючих технологій компресійного кодування не забезпечує відповідний рівень достовірності відеоінформації для інфокомунікаційних систем аеросегменту.

Тому підвищення достовірності компактно представлених відеозображень для інфокомунікаційних систем аеросегменту є **актуальною науково-прикладною задачею**.

Локалізувати дію помилок на якість відновлюваних відеозображень можна за рахунок наявної психовізуальної надмірності. Але саме на усуненні психовізуальної надмірності в існуючих методах компресійного кодування досягається основне значення рівня стиснення відеоданих.

Отже необхідно підвищення достовірності відеоінформаційного ресурсу організувати на основі

удосконалення методів компресійного кодування в напрямку локалізації дії помилок в процесі стиснення та реконструкції відеокадрів.

Мета статті — розробка методу реструктуризації даних відеоінформаційного ресурсу в системах компресійного кодування для підвищення достовірності.

2 Виклад основного матеріалу

При використанні технологій компресійного кодування для підвищення рівня достовірності даних відеозображення в умовах дії помилок в каналі зв'язку необхідно забезпечити виконання наступних умов:

1) локалізацію дії помилок для зниження їх впливу на деструктивну дію в процесі реконструкції відеоданих;

2) додаткове скорочення структурної надмірності вихідної кодової послідовності за рахунок реструктуризації інформаційного простору.

Для цього пропонується використовувати принципово новий підхід — внутрішню реструктуризацію, яка враховує закономірності у двійковій структурі елемента u_ξ ($u_\xi \in U(\theta)$) за кількісною ознакою λ .

Під двійковою структурою розуміється послідовність двійкових розрядів, якою задається елемент u_ξ повідомлення $U(\theta)$ (Рис. 2).

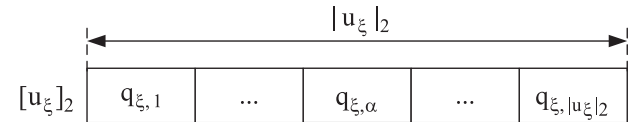


Рис. 2. Схема двійкової структури елемента u_ξ

Двійкове представлення елемента u_ξ складається з послідовності $[u_\xi]_2$ двійкових розрядів $q_{\xi,\alpha}$, $\alpha = \overline{1, |u_\xi|_2}$:

$$[u_\xi]_2 = \{q_{\xi,1}; \dots; q_{\xi,\alpha}; \dots; q_{\xi,|u_\xi|_2}\}, \quad (1)$$

де $q_{\xi,\alpha}$ — α -й розряд елемента u_ξ .

В свою чергу, набір ознаки λ для відеозображення $U(\theta)$ описується наступним виразом:

$$\Lambda(U(\theta)) = \{\lambda_1, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_{|\Lambda(U(\theta))|}\}, \quad (2)$$

$$\lambda = \overline{\lambda_1; \lambda_{|\Lambda(U(\theta))|}},$$

де $\Lambda(U(\theta))$ — набір ознаки λ , яка виявлена у двійковій структурі $[u_\xi]_2$ елементів u_ξ повідомлення $U(\theta)$; $|\Lambda(U(\theta))|$ — потужність набору ознаки λ для відеозображення $U(\theta)$; λ_i — i -е значення ознаки λ .

Для підвищення ефективності статистичного кодування з позиції підвищення достовірності відеоінформації та додаткового скорочення кодової надмірності пропонується розробити технологію кластеризації даних відеозображення $U(\theta)$ за кількісною ознакою λ .

2.1 Розробка методу реструктуризації даних відеоінформаційного ресурсу за кількісною ознакою

Кластеризація відеозображення $U(\theta)$ за кількісною ознакою λ задається наступним виразом:

$$U(\theta) \xrightarrow{f_{cl}} \{U(\lambda_1), \dots, U(\lambda_i), \dots, U(\lambda_{|\Lambda(U(\theta))|})\}, \quad (3)$$

де f_{cl} – функціонал каутеризації 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 $\lambda = \lambda_i$.

Для внутрішньої реструктуризації даних в якості кількісної ознаки пропонується використовувати кількість λ серій одиниць (СО) у двійковому представленні елементів u_ξ .

Цикл формування кількості λ СО в двійковому представленні елементу u_ξ задається наступною системою виразів (Рис. 3):

$$\lambda_\alpha = \begin{cases} \lambda_\alpha, & \rightarrow q_{\alpha-1} = q_\alpha; \\ \lambda_\alpha + 1 & \rightarrow q_{\alpha-1} \neq q_\alpha. \end{cases} \quad (4)$$

де $q_{\alpha-1}$, q_α – попередній та поточний двійкові розряди, якими задається внутрішня двійкова структура $[u_\xi]_2$ елемента u_ξ повідомлення $U(\theta)$; λ_α – значення кількості λ СО на α -му кроці, $\alpha = 1, |u_\xi|_2$.

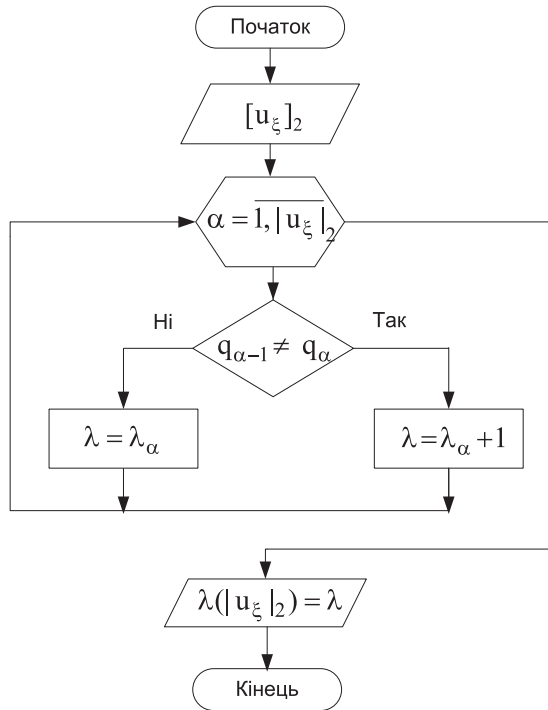


Рис. 3. Алгоритм формування кількості λ СО для елемента u_ξ повідомлення $U(\theta)$

Розрахунок кількості λ СО у послідовності $[u_\xi]_2$ двійкових розрядів $q_{\xi,\alpha}$, якою задається елемент u_ξ повідомлення $U(\theta)$, відбувається наступним чином:

1) на нульовому кроці кількість λ серій одиниць дорівнює 0, тобто $\lambda = 0$, якщо перший розряд q_1 двійкової послідовності $[u_\xi]_2$, якою задається елемент u_ξ , дорівнює 0, тобто $q_1 = 0$;

2) на α -му кроці кількість λ_α серій збільшується на 1, тобто $\lambda = \lambda_\alpha + 1$, якщо виконується наступна умова (Рис. 3):

$$q_{\alpha-1} \neq q_\alpha. \quad (5)$$

Якщо умова (5) не виконується, тобто $q_{\alpha-1} = q_\alpha$, то кількість λ СО залишається незмінною, тобто $\lambda = \lambda_\alpha$ ($\lambda_\alpha \rightarrow \lambda(\alpha)$);

3) для кінцевого етапу при $\alpha = |u_\xi|_2$ отримується значення кількості λ СО в двійковому представленні елементу u_ξ повідомлення $U(\theta)$, тобто $\lambda(|u_\xi|_2) = \lambda$.

Кластеризація повідомлення $U(\theta)$ за кількістю λ СО в двійковому представленні елементів u_ξ складається з наступних етапів:

1) для елементу u_ξ визначається кількість λ СО;

2) якщо кількість СО в двійковому представленні елементу u_ξ приймає значення λ_i (тобто $\lambda = \lambda_i$), то він належить множині $U(\lambda_i)$, тобто $u_\xi \in U(\lambda_i)$;

3) елементи з однаковими значеннями кількості λ СО об'єднуються у множини $U(\lambda)$. Так якщо різні за значенням елементи u_j і u_ξ повідомлення $U(\theta)$ (тобто $u_j \neq u_\xi$) мають однакові значення кількості λ СО, тобто $\lambda(u_j) = \lambda(u_\xi)$, то вони належать одній множині $U(\lambda)$, тобто $u_j, u_\xi \in U(\lambda)$.

Відповідно, якщо елементи u_j і u_ξ мають різні значення кількості λ СО, то в результаті кластеризації вони будуть належати різним множинам, тобто:

$$\text{якщо } \lambda(u_j) \neq \lambda(u_\xi) \text{ і } u_j \in U(\lambda_i), \text{ то } u_\xi \notin U(\lambda_i).$$

Отже дані відеозображення $U(\theta)$ розбиваються на множини $U(\lambda_i)$ таким чином, що кожен елемент u_ξ повідомлення $U(\theta)$ може належати тільки одній множині, тобто множини елементів не перетинаються:

$$\text{якщо } u_\xi \in U(\lambda_i), \text{ то } u_\xi \notin U(\lambda_j) \text{ і } U(\lambda_j) \cap U(\lambda_i) = \emptyset.$$

Кластеризація елементів u_ξ відеозображення $U(\theta)$ з однаковою кількістю СО задається наступним виразом:

$$f_{cl}(u_\xi, \lambda_i) : U(\theta) \xrightarrow{f_{cl}} \xrightarrow{f_{cl}} \{U(\lambda_1); \dots; U(\lambda_i); \dots; U(\lambda_{|\Lambda(U(\theta))|})\}, \quad (6)$$

де $f_{cl}(u_\xi, \lambda_i)$ – функціонал кластеризації елементів u_ξ відеозображення $U(\theta)$ з однаковою кількістю λ_i СО.

Перевагами використання зазначеної кількісної ознаки є простота алгоритмічної реалізації (процес формування кількісної ознаки передбачає використання лише арифметичних та логічних операцій).

В свою чергу, потужність $|U'(\lambda_i)|$ алфавіту $U'(\lambda_i)$ кластеру $U(\lambda_i)$, елементи u_ξ якого мають

значення кількості λ СО, що дорівнює $\lambda = \lambda_i$, виражається наступним виразом:

$$|U'(\lambda_i)| = \frac{(|u_\xi|_2 + 1)!}{(2\lambda_i)! (|u_\xi|_2 + 1 - 2\lambda_i)!}. \quad (7)$$

В свою чергу, алфавіт $\Lambda(U(\vartheta))$ ознаки кількості λ СО для алфавіту $U(\vartheta)$ елементів відеозображення $U(\theta)$ залежить від довжини $|u_\xi|_2$ двійкового представлення $[u_\xi]_2$ елемента u_ξ . Так для випадку, коли довжина $|u_\xi|_2$ двійкового представлення $[u_\xi]_2$ елемента u_ξ має парне значення, тобто:

$$|u_\xi|_2 = 2 \times Z^\geq,$$

де Z^\geq – множина цілих позитивних чисел, алфавіт $\Lambda(U(\vartheta))$ ознаки кількості λ СО буде мати наступний вигляд:

$$\Lambda(U(\vartheta)) = 0, \overline{\frac{|u_\xi|_2}{2}}. \quad (8)$$

В результаті кластеризації алфавіту $U(\vartheta)$ відеозображення $U(\theta)$ за ознакою кількості λ СО будуть формуватися множини $U(\lambda_i)$, кількість яких задається потужністю $|\Lambda(U(\vartheta))|$ алфавіту $\Lambda(U(\vartheta))$ ознаки:

$$|\Lambda(U(\vartheta))| = \frac{|u_\xi|_2}{2} + 1. \quad (9)$$

2.2 Оцінка ефективності розробленого методу реструктуризації даних відеоінформаційного ресурсу за кількісною ознакою з позиції створення умов для додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення

Далі пропонується проаналізувати ефективність кластеризації елементів u_ξ відеозображення $U(\theta)$ для масиву даних. Пропонується для аналізу використовувати 200 зображень середнього ступеня насиченості. На Рис. 4 наведені результати обробки масиву даних (200 середньо насичених зображень) з позиції розподілу елементів u_ξ по кластерам $U(\lambda_i)$.

Аналізуючи отримані результати реструктуризації досліджуваного масиву даних за кількістю λ СО (Рис. 4) можна зробити наступні висновки:

– основна частина елементів u_ξ масиву даних приходить на кластери $U(\lambda_i)$ з кількістю λ СО, що дорівнює 2 і 3 (52% і 36,2%);

– потужність $|U(\theta)|$ відеозображення $U(\theta)$ при використанні реструктуризації даних перевищує потужність $|U(\lambda_i)|$ кластерів $U(\lambda_i)$ мінімум в 2 рази (для кластеру $U(\lambda_2)$), а для кластерів $U(\lambda_1)$ і $U(\lambda_4)$ – на 90% і 97% відповідно.

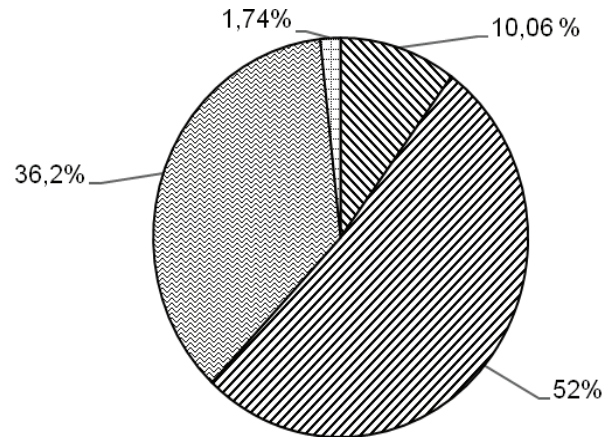






Рис. 4. Діаграма розподілу елементів масиву середньо-насичених зображень по множинах в залежності від кількості λ СО

На Рис. 4 прийняті наступні позначення:

-  – множина $U(\lambda_1)$ елементів u_ξ з кількістю λ СО, що дорівнює 1
-  – множина $U(\lambda_2)$ елементів u_ξ з кількістю λ СО, що дорівнює 2
-  – множина $U(\lambda_3)$ елементів u_ξ з кількістю λ СО, що дорівнює 3
-  – множина $U(\lambda_4)$ елементів u_ξ з кількістю λ СО, що дорівнює 4

Це створює умови для додаткового скорочення кількості структурної надмірності масивів даних. Тут надмірність обумовлена виявленням обмежень щодо величини потужності кластерів, в межах яких кодуються дані.

2.3 Оцінка ефективності розробленого методу за кількісною ознакою з позиції забезпечення необхідного рівня достовірності

Слід зазначити, що розроблений метод реструктуризації на основі виявлення закономірностей у внутрішній двійковій структурі $[u_\xi]_2$ елементів u_ξ повідомлення $U(\theta)$ дозволяє створити умови для локалізації дії помилок в процесі реконструкції відеоінформаційних ресурсів.

Так на Рис. 5 наведений можливий варіант декодування вихідної кодової послідовності $L(\theta)$ в умовах дії помилок ε в каналі передачі даних.

Наведений на Рис. 5 фрагмент вихідної кодової послідовності $L(\theta)$ демонструє типовий приклад, коли помилка ε , що виникає у старших розрядах кодової конструкції $l_{\xi-1}(\lambda_i)$, призводить до наступних наслідків:

1. Декодер помилково ідентифікує кодові конструкції $l_{\xi-1}(\lambda_i)$ та $l_{\xi}(\lambda_i)$, що присвоюються в процесі статистичного кодування елементам, які об'єднуються в процесі реструктуризації даних відеозображення $U(\theta)$ в один кластер (тобто $u_{\xi-1}, u_{\xi} \in U(\lambda_i)$):

$$\begin{aligned} l'_{\xi-1}(\lambda_i) &\neq l_{\xi-1}(\lambda_i), \\ l'_{\xi}(\lambda_i) &\neq l_{\xi}(\lambda_i), \end{aligned} \quad (10)$$

де $l'_{\xi-1}(\lambda_i)$, $l'_{\xi}(\lambda_i)$ – кодові конструкції, які формуються внаслідок дії помилок в каналі передачі даних.

Розглянутий варіант лавинного ефекту дії помилок (Рис. 5) пов'язаний з тим фактом, що для

послідовності кодових конструкцій, які присвоюються в процесі статистичного кодування елементам, що належать одному кластеру, буде виконуватися властивість префіксності. В свою чергу, до особливостей властивості префіксності нерівномірних кодових конструкцій відноситься зниження рівня достовірності кодованих даних в умовах дії помилок в каналах зв'язку.

2. В умовах, коли відомо, якому з кластерів належить наступна кодова конструкція $l_{\xi+1}(\lambda_j)$, декодер ідентифікує її без помилок. Тому далі, якщо в процесі декодування не виникають помилки, то наступні кодові конструкції (кодові конструкції $l_{\theta-1}(\lambda_j)$ та $l_{\theta}(\lambda_j)$) декодуються безпомилково. Тобто дія помилок локалізується в межах послідовності кодових конструкцій $l'_{\xi-1}(\lambda_i)$ та $l'_{\xi}(\lambda_i)$ (Рис. 5), що присвоюються елементам однієї множини $U(\lambda_i)$.

До службової інформації належать маркери кластеризованих компонент зображення. Призначення маркерів: однозначність ідентифікації координат кластеризованих компонент зображення. Маркери формуються в маркерні масиви, які в подальшому підлягають кодуванню.

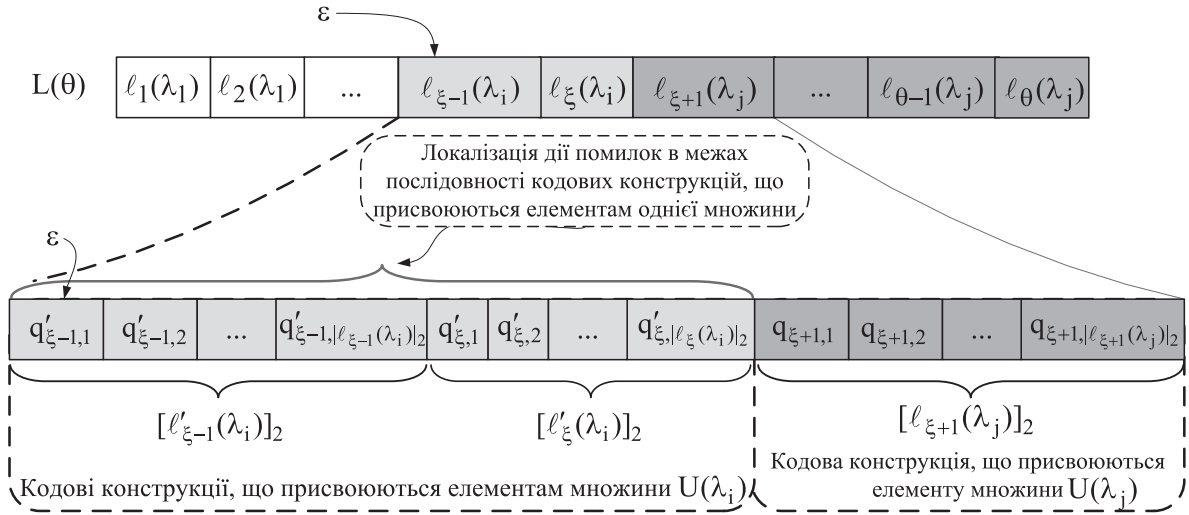


Рис. 5. Схема локалізації дії помилок в процесі декодування фрагменту вихідної кодової послідовності з використанням розробленого методу реструктуризації даних відеозображення

На Рис. 6 наведені результати реконструкції середньонасиченого зображення для розробленого методу з використанням моделювання помилок в процесі реконструкції відеоінформації при передачі в дискретному симетричному каналі без пам'яті.

Порівняльна оцінка показника відносної кількості $K'_{\text{рм}}$ спотворених пікселів, що впливають на якість візуального сприйняття відеозображень, в умовах дії помилок в каналах передачі даних для розробленого методу компресійного кодування та існуючого методу (JPEG) наведена на Рис. 7-8.

Аналіз даних, наведених на Рис. 7-8, свідчить про те, що використання розробленого методу (PM)

реструктуризації даних дозволяє підвищити рівень достовірності даних відеоінформаційного ресурсу при заданому рівні помилок в процесі реконструкції. Так для випадку, коли помилка в дискретному симетричному каналі передачі даних без пам'яті задається значенням, що дорівнює $P(\varepsilon) = 10^{-5}$, використання розробленого методу дозволяє зменшити відносну кількість $K'_{\text{рм}}$ спотворених пікселів, що впливають на якість візуального сприйняття відеозображень, у порівнянні з існуючим методом (IM) у середньому в 10-17 разів.

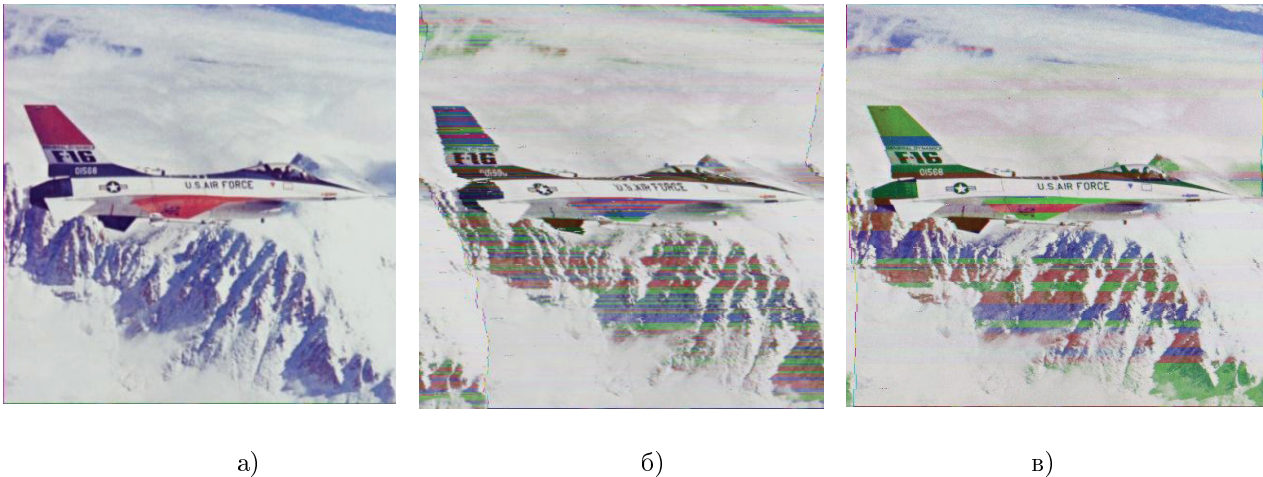


Рис. 6. Результати реконструкції середьонасиченого відеозображення при заданому рівні помилок в каналі передачі даних для розробленого методу: а) $P(\varepsilon)=0$; б) $P(\varepsilon)=10^{-4}$; в) $P(\varepsilon)=10^{-5}$

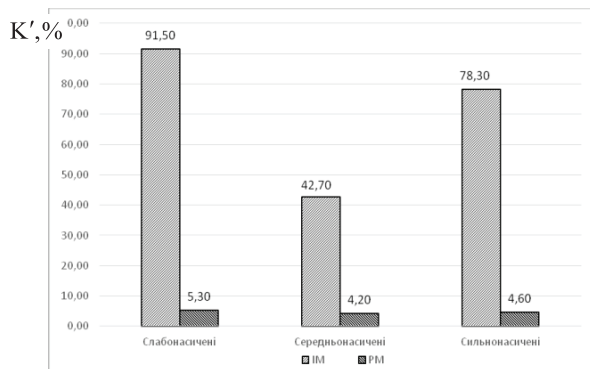


Рис. 7. Діаграма залежності відносної кількості K'_{PM} спотворених пікселів, при заданому рівні помилок $P(\varepsilon)$ від ступеню насиченості зображень для розробленого та існуючих методів, $P(\varepsilon)=10^{-5}$

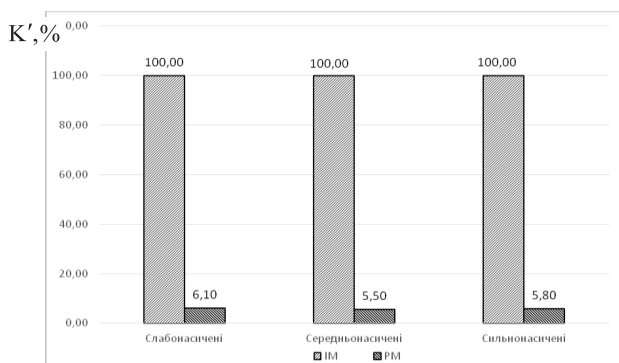


Рис. 8. Діаграма залежності відносної кількості K'_{PM} спотворених пікселів, при заданому рівні помилок $P(\varepsilon)$ від ступеню насиченості зображень для розробленого та існуючих методів, $P(\varepsilon)=10^{-4}$

Відповідно для другого досліджуваного випадку (коли $P(\varepsilon)=10^{-4}$) відносної кількості K'_{PM}

спотворених пікселів, що впливають на якість візуального сприйняття відеозображень, скорочується у середньому в 16-18 разів у порівнянні з існуючим методом.

Порівняльна оцінка показника пікового відношення сигнал/шум (PSNR) відновленого відеозображення щодо початкового, в умовах дії помилок в каналах передачі даних для розробленого методу компресійного кодування та існуючого методу (JPEG) наведена на Рис. 9.

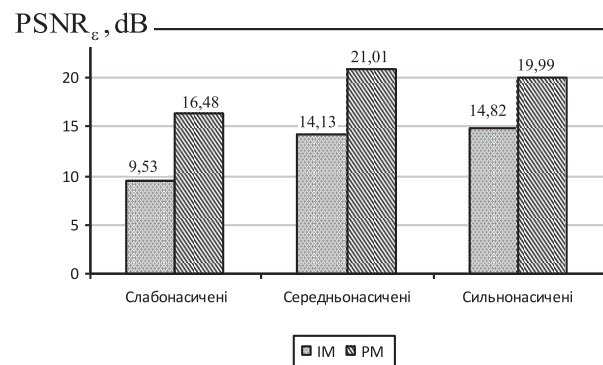


Рис. 9. Діаграма залежності пікового відношення сигнал/шум при заданому рівні помилок $P(\varepsilon)$ від ступеню насиченості зображень для розробленого та існуючих методів, $P(\varepsilon)=10^{-5}$

Аналіз результатів реконструкції відеоданих, для випадку, коли помилка в дискретному симетричному каналі передачі даних без пам'яті задається значенням, що дорівнює $P(\varepsilon)=10^{-5}$ з використанням розробленого методу реструктуризації відеоданих дозволяє покращити характеристику PSNR в середньому на 38%, в порівнянні з існуючими методами.

Таким чином, розроблений метод внутрішньої реструктуризації даних відеозображення створює

умови для локалізації дії помилок в процесі реконструкції даних відеоінформаційних ресурсів в межах послідовностей кодових конструкцій, що приносяться елементам одного кластеру. Це пов'язано з тим, що декодеру відомо, якому з кластерів належить та чи інша кодова конструкція.

Висновки

1. Обґрунтовано напрямок підвищення достовірності відеоінформації з застосуванням технологій компресійного кодування в умовах забезпечення необхідного рівня оперативності. Суть зазначеного напрямку полягає у виявленні закономірностей у внутрішній двійковій структурі елементів повідомлення за кількісною ознакою.

2. Вперше розроблено метод реструктуризації на основі виявлення закономірностей у внутрішній двійковій структурі елементів повідомлення. Відмінні характеристики методу полягають у тому, що реструктуризація інформаційного простору здійснюється без втрати цілісності шляхом формування кластерів на основі структурної ознаки за кількістю двійкових серій.

Це дозволяє:

- виконати реструктуризацію інформаційного простору без втрати цілісності на основі ознаки кількості серій одиниць;

- забезпечити умови для додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення інформації за рахунок скорочення потужності інформаційного простору (до рівня кластерів), в межах якого будуть кодуватися дані;

- забезпечити створення умов для локалізації дії помилок в процесі реконструкції даних відеоінформаційних ресурсів.

При цьому досягаються такі результати:

- використання внутрішньої реструктуризації за ознакою кількості λ СО для масиву даних (200 зображень середнього ступеня насиченості) дозволяє сформувати кластери, потужність яких менша за потужність відеозображення мінімум в 2 рази (для множини елементів зі значенням кількісної ознаки, що дорівнює 2, тобто $\lambda = 2$), а для множин елементів зі значеннями кількісної ознаки $\lambda = 1$ та $\lambda = 4$ – на 90% і 97% відповідно;

- в результаті використання внутрішньої реструктуризації даних відеозображення за ознакою кількості серій одиниць створюються умови для додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення інформації за рахунок суттєвого скорочення потужності інформаційного простору (до рівня кластерів), в межах якого кодуються дані;

- створюються умови для локалізації дії помилок в процесі реконструкції відеоінформаційних ресурсів. Число спотворених пікселів у середньому зменшується до 18 разів у порівнянні з існуючим методом.

- створюються умови для скорочення часу на обробку даних, в зв'язку з тим, що розроблений метод реструктуризації даних не вимагає проведення перетворень над елементами повідомлення.

Далі для підвищення достовірності відеоінформації з застосуванням технологій компресійного кодування в умовах забезпечення необхідного рівня оперативності необхідно розробити метод компресійного кодування відеоінформаційних ресурсів з використанням розробленого методу реструктуризації даних інформаційного ресурсу за ознакою кількості серій одиниць.

References

- [1] JPEG Privacy & Security Abstract and Executive Summary, 2015. *JPEG.org*, accessed 7.04.2021.
- [2] Barannik, V., Sidchenko, S., Barannik, D. (2020). Technology for Protecting Video Information Resources in the Info-Communication Space. *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*, pp. 29-33. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349324.
- [3] Barannik, V., Sidchenko S., Barannik N., Barannik V. (2021). Development of the method for encoding service data in cryptocompression image representation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 9(111), pp. 103-115. doi: 10.15587/1729-4061.2021.235521.
- [4] DSTU 7624:2014: Informatsiini tekhnolohii. Kryptohrafichnyi zakhyst informatsii. Alhorytm symetrychnoho blokovocho peretvorennia [Information Technology. Cryptographic protection of information. Symmetric block transformation algorithm]. Ministry of Economic Development of Ukraine, 2015. 39 p. [In Ukrainian].
- [5] Data Encryption Standard (DES), Federal Information Processing Standards Publication 46-3, 1999. 26 p.
- [6] DSTU GOST 28147:2009: Systema obrobky informatsii. Zakhyst kryptohrafichnyi. Alhorytm kryptohrafichnocho peretvorennia (HOST 28147-89) [Information processing system. Cryptographic protection. Cryptographic transformation algorithm (GOST 28147-89)], State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy (Derzhspozhivstandart) of Ukraine, 2008. 20 p. [In Ukrainian].
- [7] Rivest, R., Shamir, A., Adleman, L. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, Vol. 21, Iss. 2, pp. 120-126. DOI: 10.1145/359340.359342.
- [8] Barannik, V., Babenko, Yu., Kulitsa, O., Barannik, V., Khimenko, A., Matviichuk-Yudina, O. (2020). Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*, pp. 52-56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [9] Chen, T.-H., Wu, Ch.-S. (2011). Efficient multi-secret image sharing based on Boolean operation. *Signal Processing*, Vol. 91, Iss. 1, pp. 90-97. DOI: 10.1016/j.sigpro.2010.06.012.

- [10] Barannik, V., Shulgin, S., Krasnorutsky, A., Slobodyanyuk, O., Gurzhiy, P., Korolyova, N. (2020). Methodological Fundamentals of Deciphering Coding of Aerophotography Segments on Special Equipment of Unmanned Complex. *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020)*, pp. 38-43. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349257.
- [11] Li, F., Krivenko, S., Lukin, V. (2020). Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT. *Radioelectronic and computer systems*, No. 2(94), pp. 22-32. DOI: 10.32620/reks.2020.2.02.
- [12] Ji, Sh., Tong, X., Zhang, M. (2012). Image encryption schemes for JPEG and GIF formats based on 3D baker with compound chaotic sequence generator. *Cornell University arXiv*. doi: 10.48550/arXiv.1208.0999.
- [13] Belikova N., Lekakh A., Dovbenko O., Dodukh O. (2019). Method of Increasing the Capacity of Information Threat Detection Filters in Modern Information and Communication Systems. *3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, pp 426-429. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847754.
- [14] Naor, M., Shamir, A. (1994). Visual Cryptography. *Proceedings of the Advances in Cryptology. EUROCRYPT'94. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 950, pp. 1-12. DOI: 10.1007/bfb0053419.
- [15] Wu, Yu., Agaian, S., Noonan, J. (2012). Sudoku Associated Two Dimensional Bijections for Image Scrambling. *IEEE Transactions on multimedia*, available at: Cornell University arXiv, 30 p. doi: 10.48550/arXiv.1207.5856.
- [16] Tsai, Ch.-L., Chen, Ch.-J., Hsu, W.-L. (2012). Multi-morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, pp. 135-139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
- [17] Wong K. W. (2009). Image encryption using chaotic maps. In: Kocarev, L., Galias, Z., Lian, S. (eds) *Intelligent Computing Based on Chaos*, Studies in Computational Intelligence, Vol. 184, pp. 333-354, Springer. DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4_16.
- [18] Cheng, P., Yang, H., Wei, P., Zhang, W. (2015). A fast image encryption algorithm based on chaotic map and lookup table. *Nonlinear Dynamics*, Vol. 79, Iss. 3, pp. 2121-2131. DOI: 10.1007/s11071-014-1798-y.
- [19] Guesmi, R., Farah, M. A. B., Kachouri, A., Samet, M. (2016). A novel chaos-based image encryption using DNA sequence operation and Secure Hash Algorithm SHA-2. *Nonlinear Dynamics*, Vol. 83, Iss. 3, pp. 1123-1136. DOI: 10.1007/s11071-015-2392-7.
- [20] Barannik, V., Barannik, V. (2020). Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. *15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020)*, pp. 775-780. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.
- [21] Kurihara, K., Watanabe O., Kiya, H. (2016). An encryption-then-compression system for JPEG XR standard. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp. 1-5. DOI: 10.1109/BMSB.2016.7521997.
- [22] Sharma, R., Bollavarapu, S. (2015). Data Security using Compression and Cryptography Techniques. *International Journal of Computer Applications*, Vol. 117, No. 14, pp. 15-18. DOI: 10.5120/20621-3342.
- [23] Zhou, J., Liu, X., Au, O. C., Tang, Y. Y. (2014). Designing an Efficient Image Encryption-Then-Compression System via Prediction Error Clustering and Random Permutation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 9, No. 1, pp. 39-50. DOI: 10.1109/TIFS.2013.2291625.
- [24] Dufaux, F., Ebrahimi, T. (2006). Toward a Secure JPEG. *Applications of Digital Image Processing XXIX*, Vol. 6312, pp. 1-8. DOI: 10.1117/12.686963.
- [25] Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000, International Standard ISO/IEC 15444-8, ITU-T Recommendation T.807, 2007. 108 p.
- [26] Wu, Y., Noonan, J., Agaian S. (2011). NPCR and UACI Randomness Tests for Image Encryption. *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT)*, April Edition, pp. 31-38.
- [27] Farajallah, M. (2015). Chaos-based crypto and joint crypto-compression systems for images and videos. *HAL science ouverte*.
- [28] Wong, K., Tanaka, K. (2010). DCT based scalable scrambling method with reversible data hiding functionality. *4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ISCCSP.2010.5463307.
- [29] Yang, Y., Zhu, B., Li, S., Yu, N. (2008). Efficient and Syntax-Compliant JPEG 2000 Encryption Preserving Original Fine Granularity of Scalability. *EURASIP Journal on Information Security*, Vol. 2007, pp. 126-139. DOI: 10.1155/2007/56365.
- [30] Watanabe, O., Uchida, A., Fukuhara, T., Kiya, H. (2015). An Encryption-then-Compression system for JPEG 2000 standard. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 1226-1230, DOI: 10.1109/ICASSP.2015.7178165.
- [31] Minemura, K., Moayed, Z., Wong, K., Qi, X., Tanaka, K. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. *19th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 261-264. DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466845.
- [32] Phatak, A. A. (2016). Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, Vol. 8, No. 6., pp. 64-71. DOI: 10.5815/ijjgsp.2016.06.08.
- [33] Komolov, D., Zhurbynskyy, D., Kulitsa, O. (2015). Selective Method For Hiding Of Video Information Resource In Telecommunication Systems Based On Encryption Of Energy-Significant Blocks Of Reference I-Frame. *1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2015)*, pp. 80-83.
- [34] Rippel, O., Bourdev, L. (2017). Real-Time Adaptive Image Compression. *34th International Conference on Machine Learning*, Vol. 70, pp. 2922-2930.

Метод реструктуризации видеоданных в системах компрессионного кодирования для повышения достоверности

Баранник В. В., Красноруцкий А. А.,
Пасинчук К. Н., Бабенко Ю. М., Степанко О. С.,
Тупица И. М.

Предметом исследования в статье являются процессы обработки видеоизображения с применением ортогонального преобразования для обмена данными в инфокоммуникационных сетях. Представлен анализ известных алгоритмов кодирования видеоинформации с активным использованием статистического подхода при кодировании данных. Целью исследования является разработка метода реструктуризации данных видеоинформационного ресурса в системах компрессионного кодирования для повышения достоверности. Это позволит, при сохранении структурно-статистической закономерности и контролируемой потери качества, обеспечить локализацию появления ошибок и избежать разрушений видеоданных при их реконструкции.

Задание: разработать метод реструктуризации данных информационного ресурса с использованием структурных закономерностей в двоичной последовательности, которой задаются данные видеоинформационного ресурса; провести анализ эффективности применения разработанного метода реструктуризации видеоданных по количественному признаку с позиции создания условий дополнительного сокращения структурной избыточности кодового представления; провести анализ эффективности применения разработанного метода реструктуризации информационного пространства с позиции повышения достоверности.

Представлено решение научной задачи, направленной на разработку методов повышения достоверности компактно представленных видеоизображений в информационно-телекоммуникационных сетях систем аэросегмента.

Полученные результаты: использование разработанного метода реструктуризации видеоданных по признаку количества серий единиц позволяет создать условия дополнительного сокращения структурной избыточности кодового представления информации за счет существенного сокращения мощности информационного пространства, внутри которого кодируются данные; обеспечиваются условия для локализации действия ошибок в процессе реконструкции видеоинформационных ресурсов; создаются условия для сокращения времени для обработки данных, в связи с тем, что разработанный метод реструктуризации данных не требует проведения преобразований над элементами сообщения.

Ключевые слова: видеоинформационный ресурс; реструктуризация; количественный признак; кодирование; достоверность; канал связи

A Method for Restructuring Video Data in Compressed Coding Systems to Increase Reliability

*Barannik V. V., Krasnorutsky A. O.,
Pasynchuk K. M., Babenko Yu. M., Stepanko O. S.,
Tupitsa I. M.*

The subject of research in the article is the processing of video images using orthogonal transformation for data exchange in information and communication networks. The analysis of known algorithms for encoding video information with the active use of a statistical approach in data coding has been presented. The aim of the study is to develop a method for restructuring video information resource data in the compression coding systems for increasing information reliability. This will allow you to ensure the neutralization of the errors and avoid the destruction of video data during its reconstruction while maintaining the structural-statistical regularity and controlled loss of quality. The task of the article is to develop a method for restructuring information resource data using structural regularity in a binary sequence that specifies video information resource data; to analyze the effectiveness of the application of the developed method for restructuring video data by a quantitative attribute from the standpoint of creating conditions for additional reduction of the structural redundancy of code representation as well as to analyze the effectiveness of the application of the developed method of restructuring the information space from the standpoint of increasing reliability. The article presents a solution to the scientific problem that is aimed to develop methods for increasing reliability of compact video images in information and telecommunication networks of aero segment systems. As a result, the use of the developed method of restructuring video data based on the number of series of units makes it possible to create conditions for additional reduction in the structural redundancy of the code representation of information due to significant reduction of the power of the information space within which the data is encoded; the conditions are provided for localizing the effect of errors in the process of reconstructing video information resources; the conditions are created for reducing the time of data processing due to the fact that the developed method of data restructuring does not require transformations on message elements.

Keywords: video information resource; restructuring; quantitative feature; coding; reliability; communication channel