

УДК 621.327:681.5

І. М. Тупиця¹
С. О. Кібіткін¹
В. М. Сухотеплий¹
Д. М. Непокритов¹
Д. В. Конов¹

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦІЇ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСТАВКИ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ АЕРОСЕГМЕНТА

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба

На сьогодні основним інструментом ефективного управління як на місцевому, регіональному, так і державному рівнях є наявність відповідного інформаційного забезпечення. Особливо це стосується сектора безпеки та оборони, де наявність потрібного інформаційного забезпечення є основною вимогою для ефективного реагування відомчих органів (відповідних силових органів) на кризові ситуації, що виникають як в суспільстві, так і державі в цілому. В зв'язку з чим, значно підвищується роль відеоінформаційного забезпечення як засобу для оперативного прийняття рішення. Це пов'язано з тим, що ключовими принципами реалізації відеоінформаційного забезпечення є своєчасність (оперативність) та достовірність. З цією метою досить активно використовуються стаціонарні та мобільні системи фото- та відеоспостереження. Використання останніх тісно пов'язано з аеросегментом — безпілотні літальні апарати та комплекси, роль яких підвищується наявністю таких властивостей, як масштабність та мобільність. Проте при цьому виникають такі проблемні фактори, пов'язані з використанням бездротових технологій зв'язку для доставки даних до кінцевого адресата: дисбаланс між постійно зростаючими обсягами даних та пропускнуною спроможністю каналів передачі даних; вплив завад, що виникають в процесі доставки відеоданих, на рівень достовірності реконструйованого відеозображення. Слід зазначити, що використання існуючих методів завадостійкого кодування для вирішення вищезазначених проблем призводить до суттєвого зростання обсягу відеоданих, що в умовах використання бездротових технологій зв'язку є критичним, відеоінформаційний ресурс передається зі значними часовими затримкам. З цією метою розробляється метод реконструкції відеоданих на основі використання ідентифікаторів (маркерів) нерівномірних кодових конструкцій, що присвоюються елементам кластерів, сформованих в результаті реструктуризації інформаційного простору за структурною ознакою. Відмінною рисою розробленого методу є незалежне декомпозиційне статистичне декодування окремих кодових підмножин за структурними ознаками, що за використання додаткової службової інформації, забезпечує локалізацію дії помилок в процесі реконструкції даних відеоінформаційного ресурсу.

Ключові слова: оперативність, достовірність, трансформація, реструктуризація, кластеризація, кодова конструкція, відеозображення.

Вступ

Стрімкі темпи цифровізації інформаційного простору супроводжуються суттєвим зростанням ролі інформаційного забезпечення як на місцевому, так і державному рівнях [1]. Особливо це стосується сектора безпеки та оборони, де наявність відповідного інформаційного забезпечення відіграє досить важливу роль [2], пов'язану з такими ключовими принципами успішного вирішення (врегулювання) відповідних задач відомчими органами:

– оперативність отримання необхідної інформації для своєчасного реагування на кризові ситуації, що виникають як в суспільстві, так і державі в цілому (оперативного прийняття рішення);

– достовірність інформації, що отримують відповідні ситуаційні центри, для забезпечення прийняття адекватних рішень щодо реагування на відповідні кризові ситуації.

Забезпечення реалізації вищезазначених принципів є ключовим механізмом реалізації успішного управління — ефективного управління наявними силами та засобами для своєчасного виявлення, адекватного реагування та успішного подолання відповідних кризових ситуацій, що виникають в сучасному суспільстві та державі в цілому.

Слід зазначити, що на сьогодні досить важливою є відеоінформаційна складова інформаційного забезпечення [3], [4]. Це пов'язано зі зростанням ролі відеоінформаційного ресурсу як засобу для оперативного прийняття рішення. З цією метою досить активно використовуються стаціонарні та динамічні системи фото- та відеоспостереження як інструмент для збору, обробки та передачі інформації до кінцевого споживача (відповідного органу сектора безпеки) [5]—[9]. Роль останніх підвищується наявністю таких властивостей: масштабність (моніторинг ділянок великих розмірів), мобільність (забезпечення оперативного моніторингу необхідних секторів).

Слід зазначити, що в динамічних системах відеоспостереження, для доставки відеоданих використовуються бездротові технології зв'язку, через що виникає низка проблемних аспектів, основні серед яких такі [10]—[13]:

– наявність дисбалансу між постійно зростаючими обсягами даних, що передаються, та пропусковою спроможністю каналів передачі даних [10]—[12];

– вплив завад, що виникають в процесі доставки відеоданих, за використання бездротових каналів передачі даних на рівень достовірності реконструйованого відеозображення [11].

Для вирішення вищезазначених проблем активно використовуються наявні методи завадостійкого кодування [14]—[20]. Проте, разом з підвищенням рівня достовірності відеоданих, використання зазначеного підходу призводить до суттєвого зростання обсягу вихідних даних, що в умовах використання бездротових технологій зв'язку є критичним [15], [17]. Це пов'язано з тим, що відеоінформаційний ресурс передається зі значними часовими затримками, що може призводити як до втрати актуальності, так і до необхідності повторної передачі відеозображення. Зі свого боку, використання наявних технологій компресійного кодування не дозволяє локалізувати дію помилок, що виникають в каналах зв'язку, за рахунок використання статистичного підходу в процесі формування нерівномірних кодових конструкцій [21]—[37].

Тому для вирішення вищезазначених проблем в роботах [38]—[42] запропонований принципово новий підхід до кодування даних відеоінформаційного ресурсу, сутність якого полягає в декомпозиції інформаційного простору за рахунок використання структурних закономірностей в бінарній структурі кодованих даних.

Це дозволяє створити умови для додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих за рахунок скорочення потужності інформаційного простору, в межах якого кодуються відеодані [43]. В свою чергу, використання реструктуризації відеоданих на етапі підготовки до кодування призводить до того, що особливістю кодових конструкцій (КК), які формуються в процесі статистичного кодування є трансформація стратегії позиціонування. Це означає, що у кодовій конструкції, що присвоюються елементам кластерів, відсутня властивість префіксності. В результаті чого використання статистичного підходу призводить до таких проблемних факторів:

- елементам, що належать різним кластерам можуть присвоюватися однакові кодові конструкції;
- кодові конструкції, що присвоюються елементам одного кластера, можуть бути початком кодових конструкцій, що присвоюються елементам іншого кластера;
- властивість префіксності буде справедливою лише для серій кодових конструкцій, що формуються в процесі статистичного кодування елементів одного кластера, тобто вихідна кодова послідовність буде мати властивість міжжонинної префіксності.

Вищезазначені проблемні аспекти свідчать про те, що використання запропонованого методу кластерного статистичного кодування хоч і дозволяє створити умови для додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих, проте не дозволяє забезпечити однозначне декодування кодової послідовності без наявності відомостей про те якому з кластерів належить та чи інша КК. Таким чином виникає необхідність у використанні додаткових маркерів — ідентифікаторів кодових конструкцій з метою їх однозначного декодування.

Метою роботи є розробка методу реконструкції відеоданих для інфокомунікаційних систем аеросегмента з метою локалізації дії помилок, що виникають в каналах передачі даних.

Метод компресійного кодування відеоінформації із застосуванням внутрішньої реструктуризації даних за ознакою кількості серій одиниць

З метою забезпечення однозначного декодування кодових конструкцій пропонується при формуванні кодограми використовувати двохієрархічну схему статистичного кодування з кластеризацією (ДСКК). Структурна схема кодограми, що формується з використанням методу компресійного кодування відеоінформації із застосуванням внутрішньої реструктуризації даних за кількісною ознакою, ознакою кількості серій одиниць (СО), показана на рис. 1.

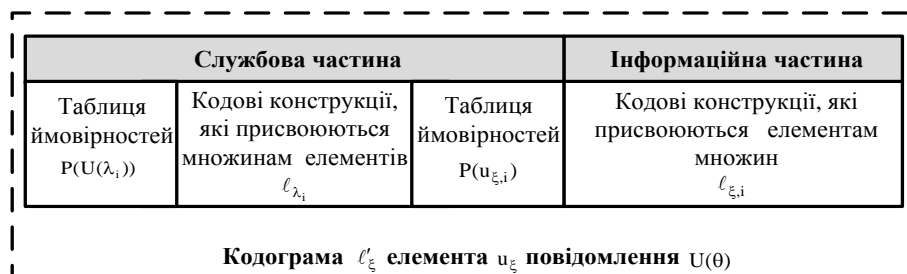


Рис. 1. Структурна схема кодограми елемента повідомлення для двохієрархічної схеми статистичного кодування

Суть двохієрархічної схеми статистичного кодування з кластеризацією полягає в такому:

– на першому етапі відбувається статистичне кодування елементів u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ в статистичному просторі кластерів $U(\lambda_i)$, тобто формується інформаційна складова $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_{ξ} (рис. 1).

Статистичне кодування елементів $u_{\xi,i}$ кластера $U(\lambda_i)$, який складається з k — елементів ($\xi = \overline{1, k}$), задається таким виразом:

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

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

Тут використовується інформація про розподіл значень ймовірностей $P(u_{\xi,i})$ появи елементів $u_{\xi,i}$ у кластері $U(\lambda_i)$, 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

$$\ell_{\xi,i} = f_{vlc}(u_{\xi,i}, P(u_{\xi,i})), \quad (2)$$

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

– на другому етапі пропонується проводити статистичне кодування кластерів $U(\lambda_i)$ елементів u_{ξ} з однаковими значеннями ознаки кількості λ_i СО в статистичному просторі повідомлення $U(\theta)$. В результаті будуть формуватися кодові конструкції ℓ_{λ_i} , які є маркерами — ідентифікаторами для нерівномірних кодових конструкцій $\ell_{\xi,i}$, сформованих на першому етапі кодування — кодова частина службової складової кодограми.

Статистичне кодування множин, в які об'єднуються в процесі кластеризації елементи u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ з однаковими значеннями ознаки кількості λ СО, задається таким співвідношенням:

$$U(\lambda_i) \xrightarrow{f_{vlc}} L(\lambda_i), \quad (3)$$

де $f_{vlc}(U(\lambda_i), P(U(\lambda_i)))$ — функція формування нерівномірних кодових конструкцій ℓ_{λ_i} для

множин $U(\lambda_i)$ елементів $u_{\xi,i}$, $i = \overline{1, |\Lambda(U(\theta))|}$, $\xi = \overline{1, \theta}$.

Тут використовується інформація про розподіл ймовірностей появи множин $U(\lambda_i)$ елементів $u_{\xi,i}$ у початковому повідомленні $U(\theta)$. З урахуванням цієї інформації на основі функції $f_{vlc}(U(\lambda_i), P(U(\lambda_i)))$ формується кодова конструкція ℓ_{λ_i} . Ця функція описується такою формулою:

$$\ell_{\lambda_i} = f_{vlc}(U(\lambda_i), P(U(\lambda_i))), \tag{4}$$

де $P(U(\lambda_i))$ — ймовірність появи кластера $U(\lambda_i)$ у повідомленні $U(\theta)$.

Таким чином, в результаті використання запропонованої схеми кодування (ДСКК) буде формуватися кодограма ℓ'_{ξ} , внутрішня двійкова структура $[\ell'_{\xi}]_2$ якої задається таким виразом:

$$[\ell'_{\xi}]_2 = [\ell_{\lambda_i}]_2 \cup [\ell_{\xi,i}]_2, \tag{5}$$

де $[\ell'_{\xi}]_2$ — послідовність двійкових розрядів, якою задається кодограма елемента $u_{\xi,i}$; $[\ell_{\lambda_i}]_2$ — послідовність двійкових розрядів, якою задається кодова частина службової складової кодограми ℓ'_{ξ} елемента $u_{\xi,i}$; $[\ell_{\xi,i}]_2$ — послідовність двійкових розрядів, якою задається інформаційна частина кодограми ℓ'_{ξ} елемента $u_{\xi,i}$.

Далі пропонується розробити метод реконструкції відеоінформації для забезпечення однозначного декодування вихідної кодової послідовності та створення умов для локалізації дії помилок, що виникають в процесі доставки відеоінформації в інфокомунікаційних системах аеросегмента.

Розробка методу реконструкції відеоінформації для підвищення ефективності доставки в інфокомунікаційних системах аеросегмента

Структурно-функціональна схема методу реконструкції даних відеоінформаційного ресурсу для розробленого методу компресійного кодування із застосуванням внутрішньої реструктуризації даних за ознакою кількості СО показана на рис. 2.

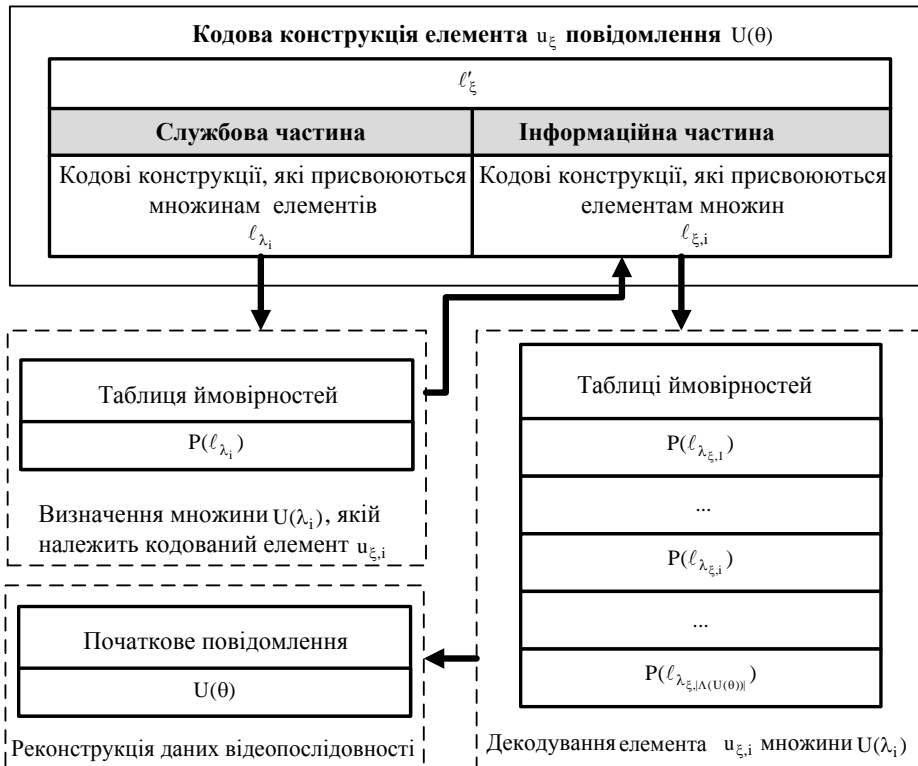


Рис. 2. Структурно-функціональна схема декодування кодової конструкції для розробленого методу компресійного кодування

Процес реконструкції відеоданих для розробленого методу компресійного кодування складається з двох етапів:

– на першому етапі відбувається декодування маркерів — ідентифікаторів кодових конструкцій, що присвоюються елементам u_ξ повідомлення $U(\theta)$ в процесі статистичного кодування в статистичному просторі кластерів $U(\lambda_i)$, тобто декодується службова складова ℓ_{λ_i} кодограми ℓ'_ξ (рис. 2). Визначається таблиця ймовірностей, за якою буде декодуватися інформаційна складова $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_ξ ;

– на другому етапі проводиться декодування КК, що присвоюються елементам u_ξ повідомлення $U(\theta)$ в процесі статистичного кодування в статистичному просторі множин $U(\lambda_i)$, тобто декодується інформаційна складова $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_ξ (рис. 2). Проводиться реконструкція (декодування) відповідного елемента u_ξ повідомлення $U(\theta)$. З цією метою використовується відповідна таблиця ймовірностей $P(u_{\xi,i})$ появи елемента u_ξ у множині $U(\lambda_i)$, якій він належить в результаті внутрішньої реструктуризації даних за ознакою кількості λ_i СО.

На рис. 3 показана структурно-функціональна схема декодування фрагмента кодової послідовності $L'(\theta)$. Так декодування КК ℓ_{λ_i} , що присвоюються множинам $U(\lambda_i)$, задається таким співвідношенням:

$$L(\lambda_i) \xrightarrow{f_{vlc}^{-1}} U(\lambda_i), \tag{6}$$

де $f_{vlc}^{-1}(\ell_{\lambda_i}, P(\ell_{\lambda_i}))$ — функція декодування нерівномірних кодових конструкцій ℓ_{λ_i} , що присвоюються множинам $U(\lambda_i)$ елементів $u_{\xi,i}$, $i = \overline{1, |\Lambda(U(\theta))|}$, $\xi = \overline{1, \theta}$.

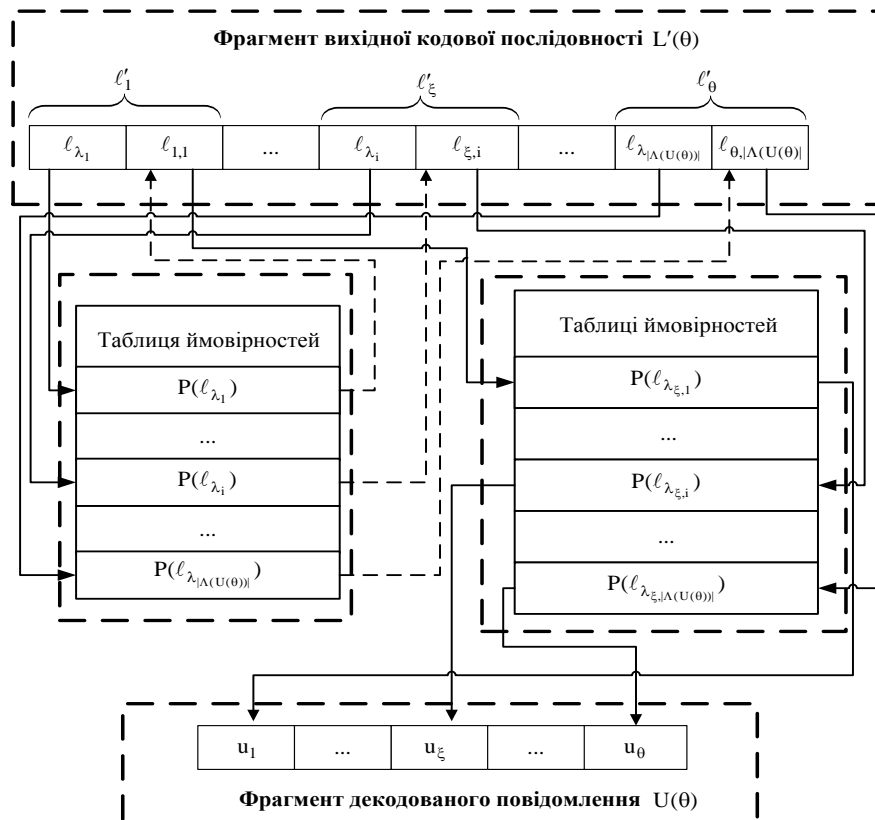


Рис. 3. Структурно-функціональна схема декодування фрагмента кодової послідовності

У процесі реконструкції відеоданих використовується службова інформація про розподіл ймовірностей появи КК ℓ_{λ_i} у вихідній кодовій послідовності $L'(\theta)$. З урахуванням цієї інформації на

основі функції $f_{vlc}^{-1}(\ell_{\lambda_i}, P(\ell_{\lambda_i}))$ визначається множина $U(\lambda_i)$, якій належить інформаційна складова $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_{ξ} . Ця функція описується таким виразом:

$$U(\lambda_i) = f_{vlc}^{-1}(\ell_{\lambda_i}, P(\ell_{\lambda_i})), \quad (7)$$

де $P(\ell_{\lambda_i})$ — ймовірність появи КК ℓ_{λ_i} у вихідній кодовій послідовності $L'(\theta)$.

В результаті декодування КК ℓ_{λ_i} , що присвоюються множинам $U(\lambda_i)$ елементів $u_{\xi,i}$ з однаковими значеннями ознаки кількості λ_i СО, визначаються таблиці ймовірностей $P(u_{\xi,i})$, згідно з якими відбувається декодування КК інформаційної складової $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_{ξ} (див. рис. 3).

Реконструкція інформаційної складової $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_{ξ} , що присвоюється елементу $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$, яка складається з k елементів ($\xi = \overline{1, k}$), задається таким виразом:

$$L'(k) \xrightarrow{f_{vlc}^{-1}} U(u_{\xi,i}), \quad \xi = \overline{1, k}, \quad (8)$$

де $f_{vlc}^{-1}(\ell_{\lambda_i}, P(\ell_{\lambda_i}))$ — функція декодування статистичного коду $\ell_{\xi,i}$ змінної довжини для елементів $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$.

Тут використовується інформація про розподіл ймовірностей $P(\ell_{\xi,i})$ появи КК інформаційної складової $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_{ξ} у вихідній кодовій послідовності $L'(\theta)$ (рис. 3). З урахуванням цієї інформації на основі функції $f_{vlc}^{-1}(\ell'_{\xi,i}, P(\ell'_{\xi,i}))$ відбувається декодування елемента $u_{\xi,i}$ множини $U(\lambda_i)$. Ця функція описується формулою

$$u_{\xi,i} = f_{vlc}^{-1}(\ell'_{\xi,i}, P(\ell'_{\xi,i})). \quad (9)$$

В результаті декодування інформаційної складової $\ell_{\xi,i}$ кодограми ℓ'_{ξ} формується множина $U(\lambda_i)$ елементів $u_{\xi,i}$ з однаковим значенням ознаки кількості λ_i СО, який має такий вигляд:

$$U(\lambda_i) = \{u_{1,i}; \dots; u_{\xi,i}; \dots; u_{k,i}\}, \quad (9)$$

де k — кількість елементів у множині $U(\lambda_i)$.

Відповідно декодування кодової послідовності $L'(\theta)$, що формується в результаті використання розробленого методу компресійного кодування даних відеоінформаційного ресурсу, буде задаватися виразом

$$U(\theta) = \{u_{\xi,1}; \dots; u_{\xi,i}; \dots; u_{\xi,|\Lambda(U(\theta))} \}, \quad \xi = \overline{1, \theta}, \quad i = \overline{1, |\Lambda(U(\theta))|}. \quad (10)$$

За відсутності помилок в процесі реконструкції кодові конструкції вихідної кодової послідовності декодуються однозначно. Далі пропонується дослідити ефективність розробленого методу компресійного кодування відеоданих в умовах дії помилок в процесі реконструкції з позиції забезпечення потрібного рівня достовірності.

Аналіз ефективності використання розробленого методу з позиції забезпечення локалізації дії помилок в процесі реконструкції відеозображень

Далі пропонується проаналізувати ефективність розробленого методу з позиції підвищення достовірності відеоінформаційного ресурсу за оцінкою візуального спотворення в процесі реконструкції. З цією метою проведено низку експериментальних досліджень, спрямованих на моделювання таких процесів:

- моделювання процесу реконструкції відеозображень з використанням розробленого методу;
- моделювання процесу реконструкції відеозображень з використанням наявних методів, побудованих на базі платформи JPEG.

Моделювання зазначених процесів проводилося з використанням розробленого програмного

продукту, що дозволяє змоделювати процес реконструкції відеозображень для розробленого методу компресійного кодування та оцінити вплив помилок, що виникають в процесі реконструкції, на достовірність відеоінформації.

Як початкові дані використовувалися тестові напівтонові відеозображення, показані на рис. 4 [44]—[46]. Для моделювання каналу передачі даних використовується дискретний симетричний канал без пам'яті.

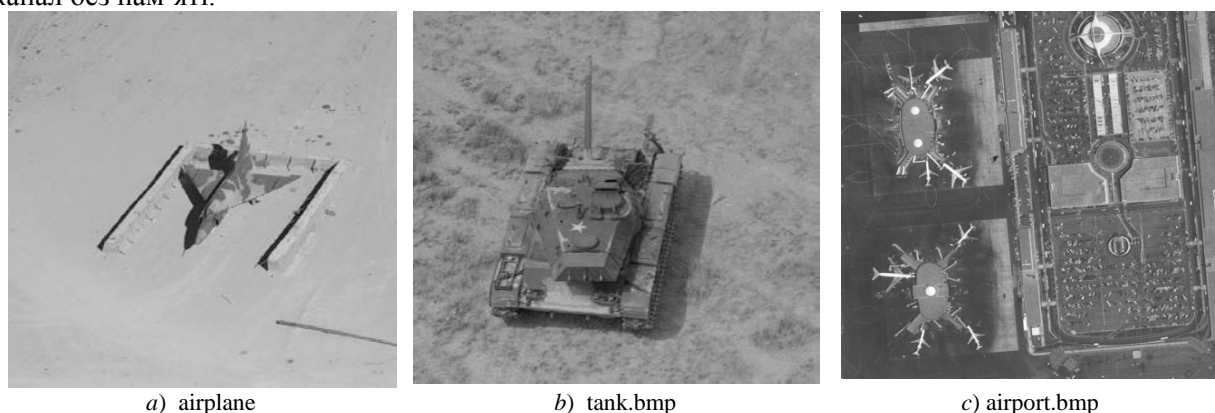


Рис. 4. Тестові зображення: *a* — слабонасичене; *b* — середньонасичене; *c* — сильнонасичене

Так результати реконструкції тестових відеозображень для розробленого методу в умовах коли помилка в дискретному симетричному каналі передачі даних без пам'яті задається значенням, що дорівнює $P(\epsilon) = 10^{-4}$, показані на рис. 5.

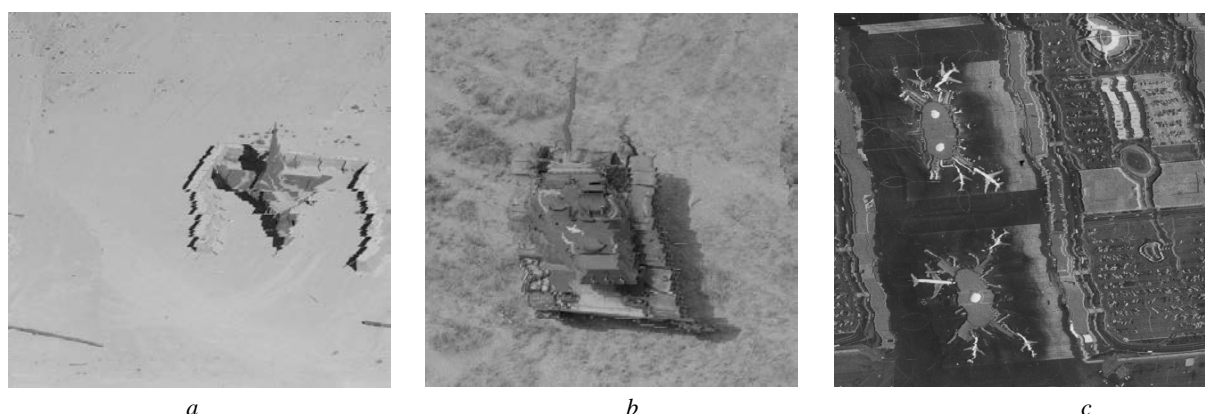


Рис. 5. Результати реконструкції відеозображень за заданого рівня помилок в каналі передачі даних для розробленого методу, при $P(\epsilon) = 10^{-4}$: *a* — слабонасичене; *b* — середньонасичене; *c* — сильнонасичене

Результати реконструкції тестових відеозображень за заданого рівня помилок в каналі передачі даних для існуючих методів, побудованих на базі алгоритмів сімейства JPEG показані на рис. 6.

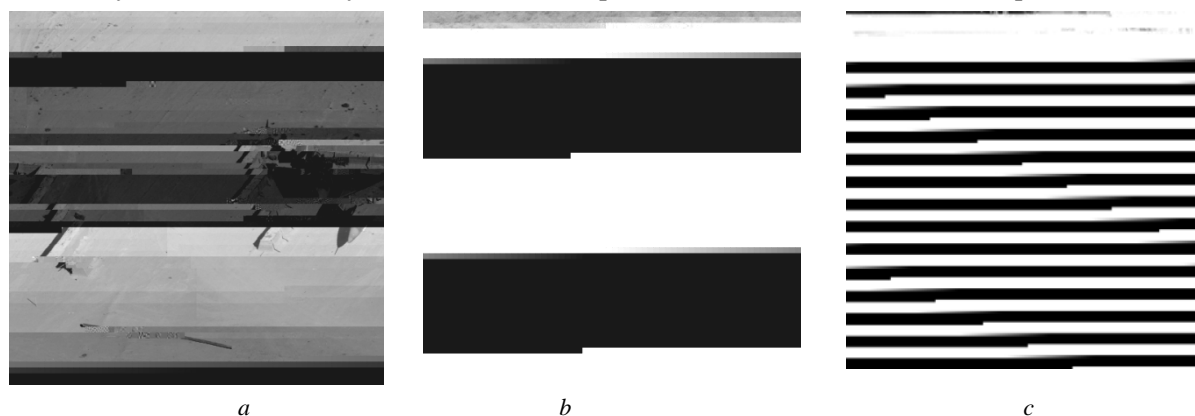


Рис. 6. Результати реконструкції відеозображень за заданого рівня помилок в каналі передачі даних для наявного методу, коли $P(\epsilon) = 10^{-4}$: *a* — слабонасичене; *b* — середньонасичене; *c* — сильнонасичене

Дослідження отриманих експериментальним шляхом оцінок візуального спотворення відеозображень свідчить про те, що використання розробленого методу дозволяє забезпечити необхідний рівень достовірності реконструйованих відеозображень локалізацією дії помилок (рис. 5). Це досягається за рахунок використання службових відомостей — маркерів ℓ_{λ_i} кодових конструкцій ℓ_{ξ_i} , що присвоюються елементам u_{ξ} повідомлення $U(\theta)$ в процесі статистичного кодування в інформаційному просторі кластерів $U(\lambda_i)$, які формуються в результаті внутрішньої реструктуризації інформаційного простору за ознакою кількості λ_i СО. Слід зазначити, що для усіх досліджуваних прикладів виникнення помилок в процесі реконструкції відеоінформації не призводить до суттєвих спотворень та руйнування відеоінформаційного ресурсу. Незалежно від ступеня насиченості тестових відеозображень розроблений метод реконструкції дозволяє визначити семантичну складову (літальний апарат, танк та відповідно аеропорт на рис. 5a, b, c).

В свою чергу використання існуючих технологій кодування (рис. 6), побудованих на базі платформи JPEG, в умовах дії помилок в процесі реконструкції призводить до значного (в окремих випадках повного руйнування даних відеоінформаційного ресурсу, внаслідок чого втрачається семантичний зміст відеозображень. Так для досліджуваних прикладів реконструйованих відеозображень, наведених на рис. 6, в результаті візуальної оцінки (тобто оцінки зоровою системою людини) неможливо визначити об'єкти (для аналізованих прикладів це літальний апарат, танк та аеропорт), що несуть семантичне навантаження відеозображень. Це означає, що використання зазначених технологій кодування за умов дії помилок не дозволяє забезпечити потрібний рівень достовірності даних відеоінформаційного ресурсу.

Аналіз експериментальних оцінок дозволяє зробити висновок, що використання розробленого методу забезпечує підвищення рівня достовірності відеоданих в інфокомунікаційних системах аеросегмента за рахунок локалізації дії помилок в процесі реконструкції даних відеоінформаційного ресурсу.

Висновки

Таким чином, вперше розроблено метод реконструкції даних відеоінформаційного ресурсу для підвищення ефективності доставки інформації в інфокомунікаційних мережах аеросегмента на основі використання ідентифікаторів кодових конструкцій. Це призводить до трансформації стратегії позиціонування нерівномірних кодових конструкцій в вихідній кодовій послідовності. Відмінною рисою розробленого методу є незалежне декомпозиційне статистичне декодування окремих кодових підмножин за структурними ознаками, що забезпечує за використання додаткової службової інформації (ідентифікаторів нерівномірних кодових конструкцій) локалізацію дії помилок в процесі реконструкції даних відеоінформаційного ресурсу та збереження семантичного навантаження відеозображень.

Метою подальших досліджень є створення моделі оцінки достовірності відеоінформаційного ресурсу в умовах виникнення помилок в процесі реконструкції з використанням відповідних кількісних оцінок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Кабінет Міністрів України, *Постанова № 695* «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки», 2020, серп. 5. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text>.
- [2] Верховна Рада України, *Закон № 1882-IX* «Про критичну інфраструктуру», 2021, лист. 16. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>.
- [3] Кабінет Міністрів України, *Постанова № 821* «Про затвердження Порядку проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури», 2021, січ. 13. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2022-%D0%BF#Text>.
- [4] Міністерство Внутрішніх Справ України, *Наказ № 12* «Про затвердження Інструкції із застосування військовослужбовцями Національної гвардії України технічних приладів і технічних засобів, що мають функції фото- і кінозйомки, відеозапису, засобів фото- і кінозйомки, відеозапису», 2022, лип. 22. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0294-21#Text>.
- [5] Prozorro [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2022-07-15-007145-a>.
- [6] Prozorro [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2022-06-28-002174-a>.
- [7] Prozorro [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2021-12-15-020377-c>.
- [8] Prozorro [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2021-12-17-004587-b>.
- [9] Prozorro [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2022-02-18-001165-c>.

- [10] 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> .
- [11] B. -F. Wu, Y. -C. Wu, L. -W. Chiu, and H. -P. Liu, "Soft Label With Channel Encoding for Dependent Facial Image Classification," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 10661-10672, 2022, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3145195> .
- [12] Y. Jiang, "Analysis of Bit Error Rate Between BCH Code and Convolutional Code in Picture Transmission," in *2022 3rd International Conference on Electronic Communication and Artificial Intelligence (IWECAI)*, Zhuhai, 2022, pp. 77-80, <https://doi.org/10.1109/IWECAI55315.2022.00023> .
- [13] S. D. Potey, and P. M. Dhande, "Error Detection and Correction Capability for BCH Encoder using VHDL," in *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Bombay, 2019, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/I2CT45611.2019.9033847> .
- [14] P. Garlapati, B. Yamuna, and K. Balasubramanian, "A Low Power Hard Decision Decoder for BCH Codes," in *2021 International Conference on Advances in Computing and Communications (ICACC)*, Kochi, Kakknad, 2021, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICACC-202152719.2021.9708303> .
- [15] T. Richter, "Error Bounds for HDR Image Coding with JPEG XT," in *Data Compression Conference (DCC)*, 2017, pp. 122-130. <https://doi.org/10.1109/DCC.2017.7> .
- [16] 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> .
- [17] X. Peng, J. Jiang, L. Tan, and J. Hou, "2-D Bi-Level Block Coding for Color Image Compression and Transmission With Bit-Error Awareness," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 110093-110102, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001073> .
- [18] P. Lamsrichan, V. Manthamkarn, and U. Tuntoolavest, "Performance Evaluation of the Block Truncation Image Coding with BCH Codes under Noisy Channels," in *19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Prachuap Khiri Khan, 2022, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON54298.2022.9795634> .
- [19] N. Patsei, and K. Tsybulka, "Multi-class Object Classification Model Based on Error-Correcting Output Codes," in *IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream)*, Vilnius, 2021, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/eStream53087.2021.9431443> .
- [20] P. Puteaux, and W. Puech, "Localization and Correction of Corrupted Pixel Blocks in Noisy Encrypted Images," in *2020 Tenth International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA)*, Paris, 2020, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/IPTA50016.2020.9286451> .
- [21] 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> .
- [22] G. B. Iwasokun, "Lossless JPEG-Huffman model for digital image compression," *Adv. Image Video Process*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12, Feb. 2019. <https://doi.org/10.14738/aivp.71.5837> .
- [23] A. A. Jeny, M. B. Islam, M. S. Junayed, and D. Das, "Improving Image Compression with Adjacent Attention and Refinement Block," in *IEEE Access*, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195295> .
- [24] S. A. Deepthi, E. S. Rao, and M. N. G. Prasad, "Image compression techniques in wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Smart Technol. Manage. Comput., Commun., Controls, Energy Mater. (ICSTM)*, Aug. 2017, pp. 286-289. <https://doi.org/10.1109/ICSTM.2017.8089170> .
- [25] S. Khmelevsky et al., Method for quantitative criterion based transformation of the video information alphabet. *Radioelectronic and Computer Systems*, no. 2, pp. 200-216, 2022. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.16> .
- [26] Y. S. Manzhos, and Y. V. Sokolova, "A Method of IoT Information Compression," *International Journal of Computing*, no. 21(1), pp. 100-110, 2022. <https://doi.org/10.47839/ijc.21.1.2523> .
- [27] H. Huan, Z. Yuxuan, Y. Weijun, Y. Sihai, and L. Jing, "The Research on Image Processing Based on Wavelet Analysis," in *IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, Chongqing, 2022, pp. 1162-1165. <https://doi.org/10.1109/ITAIC54216.2022.9836655> .
- [28] T. Shinde, "Efficient Image Set Compression," in *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2019, pp. 3016-3017. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2019.8803230> .
- [29] J. Lee, S. Cho, and S.-K. Beack, *Context-adaptive entropy model for end-to-end optimized image compression*, 2018. arXiv: 1809.10452.
- [30] W. Xiao, N. A. Wan, Hong, and X. Chen, "A Fast JPEG Image Compression Algorithm Based on DCT," in *IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)*, 2020, pp. 106-110. <https://doi.org/10.1109/SmartCloud49737.2020.00028> .
- [31] S. Khmelevsky, I. Tupitsya, M. Parkhomenko, and Y. Borovensky, "Model of Transformation of the Alphabet of the Encoded Data as a Tool to Provide the Necessary Level of Video Image Quality in Aeromonitoring Systems," *IT&I Workshops*, 2021, pp. 311-319. [Electronic resource]. Available: http://ceur-ws.org/Vol-3179/Short_4.pdf .
- [32] B. A. Lungisani, C. K. Lebekwe, A. M. Zungeru and A. Yahya, "Image Compression Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey and Comparison," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 82511-82530, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195891> .
- [33] H. Shi, K. M. Hou, X. Diao, L. Xing, J.-J. Li, and C. De Vault, *A wireless multimedia sensor network platform for environmental event detection dedicated to precision agriculture*, 2018, arXiv: 1806.03237.
- [34] A. Djelouah, J. Campos, S. Schaub-Meyer, C. Schroers, "Neural Inter-Frame Compression for Video Coding," in *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019, pp. 6420-6428. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00652> .
- [35] O. Rippel, "Learned Video Compression," in *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019, pp. 3453-3462. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00355> .

- [36] F. Artuğer, and F. Özkaynak, “Fractal Image Compression Method for Lossy Data Compression,” in *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, 2018, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620735> .
- [37] M. A. Alam, “Faster Image Compression Technique Based on LZW Algorithm Using GPU Parallel Processing,” in *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> .
- [38] 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,” in *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>.
- [39] V. Barannik, I. Tupitsya, O. Dodukh, V. Barannik, 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,” in *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>.
- [40] V. Barannik et al., “Two-Hierarchical Scheme of Statistical Coding of Information Resource Data with Quantitative Clustering,” in *IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, 2019, pp. 89-92. <https://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030451> .
- [41] V. Barannik et al., “The analysis of the internal restructuring method efficiency used for a more compact representation of the encoded data,” in *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020): proceedings of the Intern. Conf.*, 2020, pp. 89-92. <https://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030451> .
- [42] O. Yudin et al. “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,” in *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2021): proceedings of the Intern. Conf.*, pp. 38-41. <https://doi.org/10.1109/atit54053.2021.9678887> .
- [43] Ю. В. Стасев, І. М. Тупиця, і М. В. Пархоменко, «Метод додаткового скорочення структурної надмірності кодового представлення відеоданих,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 67-76, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-67-76>.
- [44] *USC Viterbi, School of Engineering*. [Electronic resource]. Available: <https://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&image=26#top> .
- [45] *USC Viterbi, School of Engineering*. [Electronic resource]. Available: <https://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&image=27#top> .
- [46] *USC Viterbi, School of Engineering*. [Electronic resource]. Available: <https://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&image=24#top> .

Рекомендована кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 18.08.2022

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

Кібіткін Сергій Олександрович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри авіаційного обладнання та комплексів повітряної розвідки;

Сухотеплий Владислав Миколайович — старший викладач кафедри радіоелектронних систем пунктів управління Повітряних Сил;

Непокритов Дмитро Миколайович — доцент кафедри радіоелектронних систем пунктів управління Повітряних Сил;

Конов Дмитро Володимирович — науковий співробітник науково-дослідницької лабораторії факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації.

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

I. M. Tupytsia¹
 S. O. Kibitkin¹
 V. M. Sukhoteplyi¹
 D. M. Nepokrytov¹
 D. V. Konov¹

Video Data Video Image Reconstruction Method for Increasing Delivery Efficiency in Air Segment Infocommunication Systems

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Today, the main tool of effective management at both the local, regional, and state levels is the availability of appropriate information support. This especially applies to the security and defense sector, where the availability of the necessary information support is the main requirement for the effective response of departmental bodies (relevant law enforcement agencies) to crisis situations arising both in society and the state as a whole. In connection with this, the role of video information support as a means for prompt decision-making is significantly increased. This is due to the fact that the key principles of the implementation of video information provision are timeliness (operational) and reliability. For this purpose, stationary and mobile photo and video surveillance systems are quite actively used. The use of the latter is closely related to the aviation segment — unmanned aerial vehicles and complexes, the role of which is increased by the presence of such properties as scale and mobility. However, at the same time, the following problematic factors arise related to the use of wireless communication technologies for data delivery to the final addressee: an imbalance between the ever-increasing volumes of data and the bandwidth of data transmission channels; the influence of obstacles arising in the process of video data delivery on the level of reliability of the reconstructed video image. It should be noted that the use of existing methods of interference-resistant coding to solve the above-mentioned problems leads to a significant increase in the volume of video data, which is critical in the conditions of using wireless communication technologies — video is an information resource transmitted with significant time delays. For this purpose, a method of video data reconstruction is being developed based on the use of identifiers (markers) of uneven code structures assigned to the elements of clusters formed as a result of the restructuring of the information space by structural feature. A distinctive feature of the developed method is the independent decompositional statistical decoding of individual code subsets according to structural features. This ensures, due to the use of additional service information, the localization of errors in the process of data reconstruction of the video information resource. A distinctive feature of the developed method is the independent decompositional statistical decoding of individual code subsets according to structural features. This ensures, due to the use of additional service information, the localization of errors in the process of data reconstruction of the video information resource.

Keywords: transformation, restructuring, clustering, code construction, video images.

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

Kibitkin Serhii O. — Cand. Sc. (Eng.), Lecturer of the Chair of Aviation Equipment and Air Intelligence Complexes;

Sukhoteplyi Vladyslav M. — Senior Lecturer of the Chair of Radio electronic Systems of Control Points;

Nepokrytov Dmytro M. — Associate Professor of the Chair of Radio Electronic Systems of Control Points of Air Force;

Konov Dmytro V. — Researcher of the Scientific Research Laboratory of the Department of Automated Control Systems and Ground Support of Aviation Flights