

DOI: 10.18372/2310-5461.57.17446

УДК 004.622: 517.927

С. С. Шульгін, канд. техн. наук
Харківський національний університет
радіоелектроніки
orcid.org/0000-0001-5174-290X
e-mail: sssh.sergey@gmail.com;

МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ КОМПРЕСІЙНОГО КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМОВАНИХ ВІДЕОСЕКМЕНТІВ

Вступ

Питання щодо надання конструктивної, достовірної та актуальної інформації в соціо-технічних системах є вагомим складовим створення єдиного інформаційного простору з врахуванням мереже центральної концепції [1; 2]. В цьому випадку потрібно побудувати загальну систему збору, аналізу та надання різних типів інформаційних ресурсів. Як, показує досвід останніх десятиліть такі аспекти є ключовими у забезпечення інформаційної компоненти сучасних воєн [3; 4]. Найбільш критичний сегмент тут пов'язано з наданням своєчасного відеоінформаційного контенту [5–7]. Існує велика кількість різних відеосервісів щодо створення інформаційного простору. Якісні характеристики відеосервісних додатків постійно поліпшуються [8]. З одного боку це зумовлено збільшенням продуктивності інфокомунікаційних мереж та систем. В той же час, з іншого боку виникає дисбаланс [9–11]. Він зумовлений такими факторами [12; 13]:

- обмеженими пропускними здатностями сучасних інфокомунікацій;

- вплив на зменшення пропускної здатності з боку супротивника, в ому числі руйнування сегментів інфокомунікаційної системи, знищення обладнання електронних мереж, пошкодження об'єктів енергетичної інфраструктури;

- пікове збільшення навантаження на мережі передачі даних під час кризових ситуацій.

Звідси маємо такі негативні наслідки [14; 15]:

- 1) втрата властивостей інформаційного ресурсу, в тому числі оперативності, актуальності та достовірності;

- 2) створення вразливих факторів щодо втрати належного рівня інформаційної безпеки;

- 3) утворення дестабілізуючих факторів відносно підвищення ефективності проведення деструктивних інформаційних та кібернетичних атак супротивником;

- 4) втрата якості управління в системах критичної інфраструктури;

- 5) створення умов для дестабілізації населення в окремих регіонах.

Отже край важливим є усунення або локалізація дисбалансів між інформаційним навантаженням та вимогами сучасних сервісів з одного боку, та обмеженими характеристиками сучасних інфокомунікацій щодо їх продуктивності.

Для цього створюється та використовується комплекс різних інформаційно-технічних концепцій та засобів. Насамперед сюди відносяться такі напрямки [16–18]:

- розробка та застосування електронних мереж нового покоління, в тому числі 5G, 6G. Це створює потенціал відносно збільшення пропускних потужностей щодо обробки та передачі даних;

- удосконалення протоколів обміну інформацією в умовах забезпечення потрібного рівня їх цілісності та конфіденційності;

- застосування технологій фільтрації вірусних потоків;

- інтелектуалізації систем управління мережевими ресурсами;

- подальший розвиток та створення нових інформаційних технологій щодо обробки великих масивів даних, в тому числі з компонентами штучного інтелекту.

Водночас аналіз відеоінформаційних ресурсів (стаціонарних відеозображень, панорамних аерофотознімків, динамічних потоків відеокадрів) показав наявність для них значної кількості різних залежностей, в тому числі семантичних, структурно-статистичних та психовізуальних [17–21]. Це дозволяє стверджувати щодо потреби у розвитку технологій кодування відеоданих. З одного боку врахування таких залежностей дозволяє побудувати формати представлення відеоданих, які мають множину переважних властивостей. З іншого боку існуючі концепції щодо розробки методів форматування відеоада-

них та їх ефективного синтаксичного представлення мають певні обмеження.

Звідси існує актуальна науково-прикладна проблема, яка стосується створення нових методів форматування та обробки відеоданих в умовах встановлення та врахування різних типів залежностей відеоданих для збільшення ефективності сучасних відеосервісів та інформаційного забезпечення соціо-технічного простору.

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

Можливі напрямки щодо вирішення даної проблеми стосуються в більшій мірі використання технологій кодування відеоданих [17–19]. Існуючі в цьому напрямку концептуальні підходи ґрунтуються на застосуванні таких базових підходів:

- 1) рівномірне форматування відеокадрів [20; 21];
- 2) виявлення залежностей та особливостей відео контенту в рівномірних структурних складових [22; 23];
- 3) передбачається наскрізне виявлення та врахування різних особливостей щодо психовізуального сприйняття відеозображень [24; 25];
- 4) нерівномірне-префіксне кодування для формування кодових конструкцій компактно-представлених відеоданих [26; 27].

З одного боку означені концептуальні підходи дозволяють будувати методи стиснення, які створюють потенціал для зменшення бітової інтенсивності відеоданих. Однак, з іншого боку такі підходи мають множину недоліків. Сюди відносяться:

- залежність рівня стиснення від наявності спотворень на рівнях візуального сприйняття та семантичного аналізу відеозображень;
- низька стійкість до каналних помилок»
- обмежена можливість щодо врахування особливостей відеосегментів.

Це створює вразливості у разі використання таких технологій для інформаційного супроводу систем М2М. Отже існує протиріччя між з одного боку наявністю особливостей відео контенту та обмеженими можливостями існуючих технологій кодування щодо їх встановлення.

Постановка проблеми

Локалізація означеного протиріччя полягає у [28–31]:

- застосування нерівномірних структурних складових відеосегментів для встановлення та виявлення залежностей та особливостей відео контенту;
- застосування контрольованих локально-рівномірних конструкцій для побудови кодового формату компактного синтаксичного опису відеокадрів;

- надання переваги щодо встановлення та скорочення кількості надмірності не зв'язаної з процесом внесення спотворень;

- створені умов для поширеного застосування технологій штучного інтелекту.

Отже потрібно розробити технологічну концепцію відносно врахування контекстно-зв'язаних залежностей в нерівномірних структурних складових відеосегментів.

Тому *мета статті* полягає у розробці формату відеокадру на основі системи нерівномірних структурних складових відеосегментів для підвищення ефективності технологій компресійного кодування без втрати достовірності інформації.

Розробка концепції для обробки трансформованих відеосегментів в умовах їх нерівномірного форматування за діагональною текстурою спектрального простору трансформанти

Встановлення та врахування контекстно-залежних особливостей відеосегментів реалізується шляхом застосування технологій компресійного перетворення. Будується відповідна система SP. Така включає до себе два взаємно однозначні процеси, а саме: прямий та зворотний процеси функціональних компресійних перетворень. Вони описуються відповідно функціоналами:

$F(\Theta_{mode}; \Theta_{features})_{\text{encod}}$ - сукупність компресійних функціональних перетворень для прямої послідовної обробки відеосегментів;

$F(\Theta_{mode}; \Theta_{features})_{\text{decod}}$ - сукупність декомпресійних функціональних перетворень для зворотної послідовної обробки відеосегментів.

Тут використовуються такі позначення:

- 1) Θ_{mode} - сукупність параметрів, які описують стратегію реалізації встановленої послідовності функціональних перетворень прямого та зворотного процесів. Наприклад, сюди відносяться:
 - стратегія та параметри квантування;
 - правила застосування та побудови маркерних послідовностей;
 - указники типу обробки відеосегментів у разі використання диференційних концепцій;
- 2) $\Theta_{features}$ - сукупність параметрів щодо встановлення та правила виявлення контекстних залежностей для відеосегменту або його окремих складових. Наприклад:

- типи кореляційних або статистичних особливостей, та їх порядок виявлення;
- порядок та правила виявлення психовізуальних особливостей;
- параметри статистичної моделі трансформанти.

Отже за функціоналом $F(\Theta_{mode}; \Theta_{features})_{\text{encod}}$ створюється формат синтаксичного опису ком-

пактного представлення відеосегменту та всього відеокадру (або їх послідовності). Відповідно відновлення відеокадру за окремими відеосегментами здійснюється за функціоналом $F(\Theta_{\text{mod } e}; \Theta_{\text{features}})_{\text{decod}}$. Звідси загальна система SP може бути представлена в такому вигляді:

$$SP\{F(\Theta_{\text{mod } e}; \Theta_{\text{features}})_{\text{encod}}; F(\Theta_{\text{mod } e}; \Theta_{\text{features}})_{\text{decod}}\}.$$

У разі обробки відеокадрів за структурою окремих відеосегментів $X_{\ell}^{(\tau)}$ використовуються більш деталізуючі функціональні перетворення. Найчастіше в сучасних компресійних технологіях обробка відеосегментів $X_{\ell}^{(\tau)}$ проводиться для їх трансформованого опису. При цьому трансформація проводиться до двовимірного спектрального простору. Отже маємо трансформанту $Y_{\ell}^{(\tau)}$, як базовий структурний елемент для побудови технологічного конвеєру. Позначимо через $C_{\ell}^{(\tau)}$ синтаксичний опис компактного представлення трансформанти $Y_{\ell}^{(\tau)}$. У цьому випадку умовно маємо послідовність перетворення початкового формату $C(Y_{\ell}^{(\tau)})$ трансформанти $Y_{\ell}^{(\tau)}$ у вихідний $C(Y_{\ell}^{(\tau)})$, та навпаки. Тоді прямий та зворотній процеси перетворення трансформанти з одного формату в інший задаються в загальному випадку наступними співвідношеннями:

- прямий процес перетворення трансформанти $Y_{\ell}^{(\tau)}$ з початкового формату $C(Y_{\ell}^{(\tau)})$ в формат компресійного опису (ФКО) $C_{\ell}^{(\tau)}$:

$$C_{\ell}^{(\tau)} = F(Y_{\ell}^{(\tau)}; C(Y_{\ell}^{(\tau)}); \Theta_{\text{mod } e}; \Theta_{\text{features}})_{\text{encod}};$$

- зворотний процес перетворення трансформанти $Y_{\ell}^{(\tau)}$ з формату ФКО $C_{\ell}^{(\tau)}$ в формат початкового опису $C(Y_{\ell}^{(\tau)})$ або наближений до нього:

$$\{Y_{\ell}^{(\tau)}; C(Y_{\ell}^{(\tau)})\} = F(C_{\ell}^{(\tau)}; \Theta_{\text{mod } e}; \Theta_{\text{features}})_{\text{decod}}.$$

Зрозуміло, що в залежності від початкового формату $C(Y_{\ell}^{(\tau)})$ опису трансформанти $Y_{\ell}^{(\tau)}$ залежить встановлення сукупності Θ_{features} контекстно-залежних особливостей та загальна ефективність ФКО.

Розглянемо деталізацію такого процесу. В загальному випадку трансформанта $Y_{\ell}^{(\tau)}$ представляє собою сукупність компонент, які утворюють двовимірний спектральний простір. Тобто

маємо $Y_{\ell}^{(\tau)} = \{y(\ell; \tau)_{i,j}\}_{i,j=1, \dots, n}$. Тут $y(\ell; \tau)_{i,j}$ – компонента трансформанта з координатами $(i; j)$. Такі координати визначають позицію компоненти за індексом i рядка та індексом j стовпця трансформанти. Водночас, як показано в працях [2, 9], такий формат не забезпечує можливість для встановлення структурних особливостей конфігурації трансформанти. Отже пропонується в якості початкового формату використовувати нерівномірно-діагональний формат опису трансформанти. Тоді трансформанта $Y_{\ell}^{(\tau)}$ описується наступним чином:

$Y_{\ell}^{(\tau)} = \{Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}\}_{\xi=1, 2n-1}$, $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ – діагональ на позиції ξ в трансформанті, $(2n-1)$ – кількість діагоналей, яка утворюється для трансформанти з лінійним розміром n . Кожна діагональ $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ трансформанти описується сукупністю відповідних спектральних компонент, тобто $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)} = \{y(\ell; \tau)_{\chi}^{(\xi)}\}_{\chi=1, n_{\xi}}$.

Тут n_{ξ} – нерівномірна довжина діагоналі, $y(\ell; \tau)_{\chi}^{(\xi)}$ – спектральна компонента, яка належить діагоналі $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$. У разі розгляду трансформанти в квантованому просторі для значень компонент $y(\ell; \tau)_{\chi}^{(\xi)}$ характерні наступні ознаки:

$$y(\ell; \tau)_{\chi}^{(\xi)} \in \begin{cases} 2^9 \div 2^{13}, \rightarrow \chi=1; \\ 2^0 \div 2^9, \rightarrow \chi \geq 2. \end{cases}$$

Звідси потужність $P_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ спектральних компонент за винятком першої становить $P_{\ell, \xi}^{(\tau)} = 256$.

Відповідно початковий формат $C(Y_{\ell}^{(\tau)})$ трансформанти представляється у вигляді послідовностей окремих діагоналей $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$. Звідси функціональні перетворення будуть стосуватися прямої та зворотної обробки нерівномірних діагональних послідовностей $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$. А саме маємо:

$$C'_{\ell, \xi}^{(\tau)} = F(Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}; n_{\xi}; \Theta_{\text{mod } e}; \Theta(Y_{\ell, \xi}^{(\tau)})_{\text{features}})_{\text{encod}};$$

$$Y_{\ell, \xi}^{(\tau)} = F(C'_{\ell, \xi}^{(\tau)}; \Theta_{\text{mod } e}; \Theta(Y_{\ell, \xi}^{(\tau)})_{\text{features}})_{\text{decod}},$$

де $\Theta(Y_{\ell, \xi}^{(\tau)})_{\text{features}}$ – сукупність параметрів для опису діагонально-залежних особливостей трансформанти; $C'_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ – кодова складова формату компактного синтаксичного опису окремої діагоналі $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$:

$$C_{\ell,\xi}^{(\tau)} = \{c'(\xi)_1; \dots; c'(\xi)_\zeta; \dots; c'(\xi)_{D_\xi}\};$$

$c'(\xi)_\zeta$ – бітова компонента на ζ -й позиції в коді $C_{\ell,\xi}^{(\tau)}$, $c'(\xi)_\zeta \in [0; 1]$; D_ξ – довжина кодограми $C_{\ell,\xi}^{(\tau)}$.

З врахуванням означених функціоналів загальний формат $C_\ell^{(\tau)}$ компактного опису всієї трансформанти представляється таким виразом :

$$C_\ell^{(\tau)} = F(\{Y_\ell^{(\tau)} | C(Y_\ell^{(\tau)}) = \{Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}\}_{\xi=1, 2n-1}\});$$

$$\Theta_{mode}; \{\Theta(Y_{\ell,\xi}^{(\tau)})_{features}\}_{\xi=1, 2n-1}^{(1)}_{\text{encod}}.$$

Тут використовуються такі позначення: $\{Y_\ell^{(\tau)} | C(Y_\ell^{(\tau)}) = \{Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}\}_{\xi=1, 2n-1}\}$ – трансформанта $Y_\ell^{(\tau)}$ за умов побудови її початкового формату $C(Y_\ell^{(\tau)})$ на основі сукупності окремих діагоналей; $\{\Theta(Y_{\ell,\xi}^{(\tau)})_{features}\}_{\xi=1, 2n-1}$ – сукупність діагонально-залежних особливостей конфігурації трансформанти.

Загальний процес прямих та зворотних перетворень можна згідно функціональної належності поділити на декілька шарів. Кожному шару відповідає сукупність перетворень, які мають певне функціональне призначення стосовно побудови загального формату компактного опису трансформованого відеосегменту. Зрозуміло, що на кожному шарі формуються структури проміжних даних. Їх потужність будемо позначати, як $P_{\ell,\xi}^{(\tau,cod)}$. Найчастіше використовують двошарову сукупність загального процесу функціональних перетворень. В цьому випадку для трансформанти за нерівномірно-діагональним форматом маємо:

1. Перший шар. Формується проміжна структура $SE_{\ell,\xi}^{(\tau)}$:

$$E_\ell^{(\tau)} = F(\{Y_\ell^{(\tau)} | C(Y_\ell^{(\tau)}) = \{Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}\}_{\xi=1, 2n-1}\});$$

$$\Theta_{mode}; \{\Theta(Y_{\ell,\xi}^{(\tau)})_{features}\}_{\xi=1, 2n-1}^{(1)}_{\text{encod}}.$$

Вона в загалі описується наступним чином: $SE_\ell^{(\tau)} = \{E_{\ell,\xi}^{(\tau)}; \dots; E_{\ell,\xi}^{(\tau)}; \dots; E_{\ell,\xi}^{(\tau)}\}$. Тут $E_{\ell,\xi}^{(\tau,\Psi)}$ – окрема компонента проміжного структурного опису за результатами першого шару перетворень. Наприклад, це може бути :

- спектральні компоненти після квантування;

- короткочасний опис лінеаризованої трансформанти, тобто опис послідовністю пар: «значима компонента; кількість нульових компонент».

2. Другий шар. Будується кінцевий формат – формат $C_\ell^{(\tau)}$ компактного опису трансформанти. В цьому випадку маємо:

$$C_\ell^{(\tau)} = F(\{SE_\ell^{(\tau)} | C(Y_\ell^{(\tau)}) = \{Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}\}_{\xi=1, 2n-1}\});$$

$$\Theta_{mode}; \{\Theta(Y_{\ell,\xi}^{(\tau)})_{features}\}_{\xi=1, 2n-1}^{(2)}_{\text{encod}}.$$

Структура формату $C_\ell^{(\tau)}$ має такий склад:

$$C_\ell^{(\tau)} = \{C_{\ell,1}^{(\tau)}; \dots; C_{\ell,\xi}^{(\tau)}; \dots; C_{\ell,2n-1}^{(\tau)}\}$$

або

$$C_\ell^{(\tau)} = \begin{pmatrix} c'(\xi)_1; \dots; c'(\xi)_\zeta; \dots; c'(\xi)_{D_1} \\ \dots \\ c'(\xi)_1; \dots; c'(\xi)_\zeta; \dots; c'(\xi)_{D_\xi} \\ \dots \\ c'(\xi)_1; \dots; c'(\xi)_\zeta; \dots; c'(\xi)_{D_{2n-1}} \end{pmatrix}.$$

Кількість проміжних шарів залежить від:

- кількості закономірностей, які враховуються в процесі встановлення та скорочення надмірності;

- потреби у формування додаткових переваг щодо виявлення закономірностей в поточних послідовностях;

- особливостей технологічної реалізації процесів кодування та формування кодових конструкцій синтаксичного опису.

При цьому таке перетворення повинне мати наступні властивості :

1) бути взаємно однозначним, тобто має існувати зворотне перетворення F_{decod} , за допомогою якого для сукупності $C_{\ell,\xi}^{(\tau)} = \{c'(\xi)_1; \dots; c'(\xi)_\zeta; \dots; c'(\xi)_{D_\xi}\}$ реконструюється початкова послідовність $Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}$:

$$\forall: C_{\ell,\xi}^{(\tau)} = F_{\text{encod}}(Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}; \Omega_{\text{par}}; \Omega_{\text{pat}})$$

$$\exists: Y(\alpha, \beta)_{\tau}^{(\ell, \xi)} = F_{\text{decod}}(C_{\ell,\xi}^{(\tau)}; \Omega_{\text{par}}; \Omega_{\text{pat}});$$

2) потужність $P_{\ell,\xi}^{(\tau,cod)}$ множини

$C_{\ell,\xi}^{(\tau)} = \{c'_1; \dots; c'_D\}$ має бути меншою за потужність $P_{\ell,\xi}^{(\tau)}$ компонент $y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$ послідовності $Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}$, тобто:

$$P_{\ell,\xi}^{(\tau,cod)} < P_{\ell,\xi}^{(\tau)};$$

3) бітовий об'єм D вихідної (кової) послідовності $C_{\ell,\xi}^{(\tau)}$ не повинен перевищувати бітовий об'єм $D_{\ell,\xi}^{(\tau)}$ початкової послідовності $Y_{\ell,\xi}^{(\tau)}$. Отже:

$$D < D_{\ell, \xi}^{(\tau)} = ([\log_2 P_{\ell, \xi}^{(\tau)}] + 1) \cdot n_{\xi},$$

де n_{ξ} - довжина ξ -ї діагоналі трансформанти $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$.

Проведемо розробку базових аспектів для компресійного представлення трансформанти за двовимірним нерівномірно-діагональним форматом.

Для цього необхідно визначитись з аспектами, що формують теоретичне підґрунтя створення процесу кодування даних. Найбільш ключовими серед них є наступні:

1. Типи надмірності, кількість якої потрібно скоротити з врахуванням відповідних особливостей вхідних послідовностей.

2. Структурно-топологічні характеристики сукупностей даних, які обираються в якості простіших (опорних) об'єктів кодування.

3. Стратегія реалізації процесу кодування та формування кодових конструкцій синтаксичного опису формату компактного представлення початкових сукупностей даних. Під стратегією кодування розуміється система підходів і правил, на основі яких забезпечується формування кодових конструкцій компактного за бітовим об'ємом представлення, в умовах їх:

- взаємно однозначного відображення з вхідними (початковими) сукупностями;

- придатності до виконання операцій зберігання та передачі в інфокомунікаційних системах.

Саме стратегією кодування визначається:

- потужність алфавіту поточних та кодових послідовностей;

- мірність вхідних та вихідних (кодових) сукупностей компонент;

- кількість шарів для перетворення алфавіту поточної послідовності в алфавіт компонент синтаксичного опису;

- технологічну схему реалізації обраного процесу кодування та побудову кодових конструкцій синтаксичного опису.

Для першого аспекту необхідно зважати на структурно-комбінаторні та психовізуально-комбінаторні особливості трансформанти за нерівномірно-діагональною текстурою.

В якості другого аспекту виступає те, що опорним об'єктом кодування пропонується використовувати нерівномірні діагоналі $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ в двовимірному спектральному просторі трансформанти. Отже можна надати таке визначення.

Визначення. Діагональна послідовність в двовимірному спектральному просторі трансформанти має комбінаторну конфігурацію, що визначається наявністю властивостей субмонотонності та нерівності між значеннями їх суміжних компонент, а отже вважається комбінаторним об'єктом.

В якості такого об'єкту пропонується використовувати комбінаторну категорію – перестановка з повторенням з додатковими обмеженнями на між елементні конфігурації.

Третій аспект. В загальному випадку залежно від мірності вхідних (початкових) послідовностей, для яких формується єдиний код (кодове значення), може застосовуватись один з двох принципів кодування, а саме:

1) принцип блокового кодування;

2) принцип по-елементного кодування.

З аналізу означених особливостей діагональних послідовностей трансформанти можна стверджувати про їх векторний характер. Для встановлення таких закономірностей потрібно щонайменш дві спектральні компоненти.

Тому найбільший потенціал відносно усунення надмірності в діагональних послідовностях досягається у разі врахування векторних залежностей. Тобто потрібно зважувати інформативність, яка присутня для всієї діагональної послідовності.

Звідси пропонується для обробки нерівномірних діагональних послідовностей $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ трансформанти застосовувати теоретичну базу блокового кодування.

Визначення (блокового кодування). Якщо початкова послідовність $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)} \in Y_{\ell}^{(\tau)}$ представляє

собою одновимірний блок $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)} = \{y(\ell; \tau)_{\chi}^{(\xi)}\}_{\chi=1, \overline{n_{\xi}}}$

з $n_{\xi} \geq 2$, то відображення F_{encod} , на основі якого до відповідності ним ставиться кодова послідовність $C_{\ell, \xi}^{(\tau)} \in \Omega(C)$, називається кодуванням одновимірних блоків або одновимірним кодуванням.

Реалізацію першого шару функціональних перетворень пропонується організувати з використанням позиційних базисів.

Визначення. Під позиційним числом A розуміється кінцева послідовність елементів a_i , діапазон W зміни значень яких є постійним, тобто:

$$A = \{a_1; \dots; a_i; \dots; a_n\}, \text{ де } a_i \in [0; w-1]$$

$$\text{для } i = \overline{1, n}.$$

Тут n - кількість елементів в позиційному числі. Отже можна вважати, що потужність P елементів a_i дорівнює w , $P = w$.

Поняття позиційного числа A визначається тим, що вага V_i кожного елементу a_i залежить від його позиції i в ньому.

Перевагами використання позиційних систем для кодування діагональних послідовностей $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ є наступні фактори:

- сумісність за властивостями з таким комбінаторним об'єктом, як перестановки з повтореннями з обмеженим діапазоном значень їх компонент. Позиційне число A складається з елементів a_i , які можуть мати будь які значення в діапазоні $[0; w-1]$, $a_i \in [0; w-1]$. Тому кожне позиційне число по суті є реалізацією перестановки з повторенням з обмеженими значеннями їх компонент. Тоді кількість V позиційних чисел, довжиною n елементів залежить від величини w , та визначається за формулою: $V = w^n$;

- обробка позиційних чисел реалізується в класі блокових систем, а саме: $E = \sum_{i=1}^n a_i \cdot V_i$.

Отже в процесі формування та кодування позиційних чисел враховується перша властивість діагональних послідовностей. Вона стосується обмеженості діапазонів зміни значень її компонент в двовимірному спектральному просторі.

Водночас позиційні числа не дозволяють врахувати в процесі кодування другу та третю властивості діагональних послідовностей трансформанти. Звідси необхідно здійснити подальший розвиток теорії позиційних систем в напрямку адаптування до властивостей нерівномірних діагоналей в двовимірному спектральному просторі трансформанти. Для цього пропонується в процесі побудови позиційних чисел додатково враховувати умову:

$$\forall y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)} \in Y_{\ell, \xi}^{(\tau)} : y(\ell; \tau)_{\chi-1}^{(\xi)} \neq y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}. \quad (2)$$

Це стосується нерівності між значеннями $y(\ell; \tau)_{\chi-1}^{(\xi)}$, $y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$ сусідніх компонент діагонали $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$, $y(\ell; \tau)_{\chi-1}^{(\xi)} \neq y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$. Індексвання таких компонент потрібно проводити з врахуванням перетворення трансформанти відповідно до нерівномірно-діагонального (пірамідального) формату. Отже зважаючи на це маємо наступний опис додаткової умови щодо побудови позиційного простору $\forall y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)} \in Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$:

- на верхньої трикутної зони трансформанти, $\xi \leq n$:

$$\begin{cases} y(\alpha, \beta, \tau)_{\xi-\chi+2; \chi-1}^{(\ell)} \neq y(\alpha, \beta, \tau)_{\xi-\chi+1; \chi}^{(\ell)}, \rightarrow \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 1; \\ y(\alpha, \beta, \tau)_{\chi-1, \xi-\chi+2}^{(\ell)} \neq y(\alpha, \beta, \tau)_{\chi, \xi-\chi+1}^{(\ell)}, \rightarrow \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 0; \end{cases} \quad (3)$$

- на нижньої трикутної зони трансформанти, $\xi \geq n+1$:

$$\begin{cases} y(\alpha, \beta, \tau)_{n-\chi+2; \xi-n+\chi-1}^{(\ell)} \neq \\ \neq y(\alpha, \beta, \tau)_{n-\chi+1; \xi-n+\chi}^{(\ell)}, \rightarrow \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 1; \\ y(\alpha, \beta, \tau)_{\xi-n+\chi-1, n-\chi+2}^{(\ell)} \neq \\ \neq y(\alpha, \beta, \tau)_{\xi-n+\chi, n-\chi+1}^{(\ell)}, \rightarrow \\ \rightarrow \xi - [\xi/2] \cdot 2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Слід зауважити, що додаткову умову вмісне враховувати для всіх діагоналей окрім першої $\xi=1$ та останньої $\xi=2n-1$. Оскільки означені діагоналі складаються однією компонентою.

Кількість $V_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ позиційних чисел визначається з обліком умови (2). Тоді у разі формування позиційного числа для ξ -ї діагонали маємо:

$$V_{\ell, \xi}^{(\tau)} = \prod_{\chi=1}^{n_\xi} w(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}.$$

Або відповідно до виразу для величини $w(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$:

$$\begin{aligned} V_{\ell, \xi}^{(\tau)} &= w(\ell; \tau)_1^{(\xi)} \prod_{\chi=2}^{n_\xi} w(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)} = \\ &= w(\ell; \tau)_1^{(\xi)} \cdot (w'(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)})^{n_\xi-1} = \\ &= \left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} + 1 \right) \times \\ &\times \left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} \right)^n. \end{aligned} \quad (5)$$

В даному співвідношенні прийняті наступні позначення:

$w(\ell; \tau)_1^{(\xi)}$, $w'(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$ - спектральні діапазони для першої та наступних компонент ξ -ї діагонали;

$w(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$ - значення спектрального діапазону для χ -ї компоненти ξ -ї діагонали.

Порівняємо співвідношення (5) з виразом для знаходження кількості $V_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ позиційних чисел без врахування умови (2). Отже маємо:

$$\begin{aligned} \frac{V_{\ell, \xi}^{(\tau)}}{V_{\ell, \xi}^{(\tau)}} &= \\ &= \frac{\left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} + 1 \right) \cdot \left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} \right)^{n_\xi-1}}{\left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} + 1 \right)^{n_\xi}} = \\ &= \frac{\left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} \right)^{n_\xi-1}}{\left(\max_{1 \leq \chi \leq n_\xi} \{y(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}\} + 1 \right)^{n_\xi-1}} < 1. \end{aligned}$$

З аналізу порівняння величин $V_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ та $V_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ можна стверджувати, що врахування додаткової

умови (2) приводить до усічення (зменшення) допустимої кількості позиційних чисел.

В подальшому позиційні числа з врахуванням додаткової умови (2) будемо називати як усічено-позиційні числа.

Зважання додаткової умови (2) приводить до наявності властивості нерівномірного збільшення значення вагових коефіцієнтів $V(\ell; \tau)_1^{(\xi)}$, $V(\ell; \tau)_2^{(\xi)}$ між першими двома компонентами $y(\ell; \tau)_1^{(\xi)}$, $y(\ell; \tau)_2^{(\xi)}$ діагональної послідовності $Y_{\ell, \xi}^{(\tau)}$. Тут проявляється «гальмування» (згасання) темпу зростання значення вагового коефіцієнту другої компоненти відносно ваги першої компоненти діагоналі. Це дозволяє зменшити вплив діапазону першої компоненти, який є найбільшим у діагоналі, на визначення вагових коефіцієнтів інших компонент. Відповідно забезпечується:

- врахування другої властивості діагональних послідовностей трансформанти;

- створення умов для додаткового зменшення бітового об'єму синтаксичний опису діагоналі.

Навпаки позиційна вага $V(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}$ інших компонент ($\chi = \overline{2, n_\xi}$) буде мати рівномірний зріст. Це спрощує обчислювальний процес обробки діагоналей та створює умови для скорочення відповідних часових затримок.

Наведені твердження описуються такими співвідношеннями :

$$\frac{V(\ell; \tau)_1^{(\xi)}}{V(\ell; \tau)_2^{(\xi)}} > \frac{V(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}}{V(\ell; \tau)_{\chi+1}^{(\xi)}};$$

$$\frac{V(\ell; \tau)_{\chi-1}^{(\xi)}}{V(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}} = \frac{V(\ell; \tau)_\chi^{(\xi)}}{V(\ell; \tau)_{\chi+1}^{(\xi)}}, \quad (6)$$

для $\chi = \overline{2, n_\xi}$.

Таким чином, створено концепцію блокового кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти на основі формування кодового значення $E_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ усічено-позиційним числам. Це дозволяє врахувати комбінаторні конфігурації трансформанти за нерівномірною діагональною текстурою та усунути кількість відповідних типів надмірності без втрати цілісності відеоінформації.

Висновки

Створено концепцію блокового кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти на основі формування кодового зна-

чення $E_{\ell, \xi}^{(\tau)}$ усічено-позиційним числам. Це дозволяє врахувати комбінаторні конфігурації трансформанти за нерівномірною діагональною текстурою та усунути кількість відповідних типів надмірності без втрати цілісності відеоінформації.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Одарченко Р., Іванова М., Рябенко М., Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн М. Метод аналізу взаємодії параметрів qoe та qos на основі алгоритмів керування машинами. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 305–316. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17130>.
- [2] Шульгін С. С. Технологія кодування трансформованих відеосегментів в нерівноваговому діагонально-позиційному просторі. *Наукоємні технології*, 2022, № 2(54), С. 147–154. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16752>
- [3] Barannik V. Technology of Structural-Binomial Coding to Increase the Efficiency of the Functioning of Computer Systems, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT) (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 96–100, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024205.
- [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., Krasnorutsky A., Kolesnik V., Barannik V., Pchel'nikov S., Zeleny P. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks. *Radio-electronic and Computer Systems*, 2022, no 4(100). – P. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
- [6] Krasnorutsky A., Onyshchenko R., Barannik D., Barannik V. The Methods of Intellectual Processing of Video Frames in Coding Systems in Progress Aeromonitor to Increase Efficiency and Semantic Integrity, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 53–56, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [7] Козловський В., Савченко А., Толстікова О., Клобукова Л. Критерії вибору спектрально-ефективних сигналів у бездротових інформаційних мережах. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 286–273. DOI: [=](#).
- [8] Barannik V., Babenko Y., Barannik V., Kolesnyk V., Zhuikov D. Method Taking into Account Level of Structural and Statistical Saturation of Video Segments in the Coding Process, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 66–71, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193.
- [9] Гаврилов Д. С., Бучік С. С., Бабенко Ю. М., Шульгін С. С., Слободянюк О. В. Method of processing video data with the possibility of their

- protection after quantization. *Radioelectronic and Computer Systems*. Вип. 2, С. 64–77. DOI: doi.org/10.32620/reks.2021.2.06.
- [10] Бараннік В. В., Красноручський А. О., Колесник В. О., Твердохліб В. В. Метод кодування трансформованих відеозображень в структурно-кластерному просторі. *Наукоємні технології*. 2022. № 3. С. 32–41. doi: doi.org/10.18372/2310-5461.55.16903
- [11] Belikova T. and Sidchenko S., The Method Drawing up the Text with the Set Suggestive Orientation to Create a Hidden Channel, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 106–110, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024206.
- [12] 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 (CCST): proceedings of the IEEE International Conference*. 2012. P. 135–139. DOI: 10.1109/CCST.2012.6393548.
- [13] Barannik V., Shulgin S., Barannik D. and Sidchenko Y. Quadrature Compression Technology in Two-Level Polyadic Space for Infocommunication Systems, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 84–87, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024217.
- [14] Шульгін С. С. Метод динамічного кодування сегментів відео потоку шляхом з'ясування структурних змін у нерівняжному діагонально-позиційному просторі. *Наукоємні технології*, 2022, № 3(55), С. 238–243.
- [15] Krasnorutsky A., Kolesnyk V., Berchanov A., Barannik V., Kharchenko N. and Malko O. Method of Structural-Statistical Coding of Video Segments in Spectral-Cluster Space, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 32–37, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024240.
- [16] Slobodyanyuk O., Krasnorutsky A., Bezruk V., Onyshchenko R., Kolesnyk V. and Podlesny S. Approach to Coding with Improved Integrity of Video Information for Transmission in Wireless Infocommunication Networks, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 38–42, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024245.
- [17] 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.
- [18] Barannik D. and Barannik V. Steganographic Coding Technology for Hiding Information in Infocommunication Systems of Critical Infrastructure, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 88–91, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.
- [19] Odarchenko R., Gnatyuk V., Gnatyuk S., Abakumova A. 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>.
- [20] Barannik, V. et al. (2023). A Method of Scrambling for the System of Cryptocompression of Codograms Service Components. In: Klymash, M., Luntovskyy, A., Beshley, M., Melnyk, I., Schill, A. (eds) *Emerging Networking in the Digital Transformation Age. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 965. Springer, Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
- [21] 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>.
- [22] Barannik V., Sidchenko S., Barannik D. and Ignatyev O. The Concept Of Creating A Complex Cryptocompression Image Protection System In Infocommunications, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 101–105, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024210.
- [23] 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>.
- [24] Shulgin S., Barannik V. and Barannik N. Dynamic Coding Method of Video Segments Stream by Specifying Structural Changes, 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), (Kyiv, Ukraine), 2022, pp. 76–79, DOI: 10.1109/ATIT58178.2022.10024179.
- [25] Barannik, V. et al. (2023). Processing Marker Arrays of Clustered Transformants for Image Segments. In: Klymash, M., Luntovskyy, A., Beshley, M., Melnyk, I., Schill, A. (eds) *Emerging Networking in the Digital Transformation Age. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 965. Springer, Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_25.
- [26] Бараннік В. В., Красноручський А. О., Пасинчук К. М., Бабенко Ю. М., Степанко О. С. and Тупица І. М. (2022) A Method for Restructuring Video Data in Compressed Coding Systems to Increase Reliability, *Visnyk NTUU KPI Serii a – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (88), pp. 50–59. doi: 10.20535/RADAP.2022.88.50-59.
- [27] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Онищенко Р., Ушань В., Ігнат'єв О. Модель інформативного

- опису спектрального простору відеосегментів діагонально нерівномірною текстурою. Наукоємні технології. 2022. № 4 (56). С. 259–267. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17124>.
- [28] Бараннік В. В., Краснорудський А. О., Колесник В. О., Пчельніков С. І., Бабенко Ю. М. and Шейгас О. М. (2022) A Method of Coding Video Segments in Spectral-Cluster Space with Detection of Structural Features, *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (90), pp. 21–30. doi: 10.20535/RADAP.2022.90.21-30.
- [29] Бараннік В. В., Бабенко Ю. М., Бараннік В. В., Колесник В. О. Метод кодування значимих за впливом на семантичну цілісність відеосегментів для забезпечення доступності. Наукоємні техно-
- логії. 2022. № 2 (54). С. 118–126. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16749>.
- [30] Barannik V., Barannik N., Slobodyanyuk O. Indirect information hiding technology on a multiadic basis. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 2021, Vol. T. 11, nr 4, P. 14–17. DOI 10.35784/iapgos.2812.
- [31] Гаврилов Д. С., Бараннік В. В., Колесник В. О., Шульгін С. С., Єрмаченков А. В. and Савчук М. В. (2022) Method of Visual Data Processing in Telecommunication Network Based on JPEG Platform and Arithmetic Coding, *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (89), pp. 21–28. doi: 10.20535/RADAP.2022.89.21-28.

Шульгін С. С.

МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ КОМПРЕСІЙНОГО КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМОВАНИХ ВІДЕОСЕГМЕНТІВ

Грунтовно доводиться виникнення дисбалансу в процесі представлення відеоінформаційних послуг зі застосуванням телекомунікаційних систем. Стверджується те, що даний дисбаланс спонукає: руйнування сегментів інфокомунікаційної системи, знищення обладнання електронних мереж, пошкодження об'єктів енергетичної інфраструктури. Звідси маємо такі негативні наслідки: втрата властивостей інформаційного ресурсу; створення вразливих факторів щодо втрати належного рівня інформаційної безпеки; утворення дестабілізуючих факторів відносно підвищення ефективності проведення деструктивних інформаційних та кібернетичних атак супротивником; втрата якості управління в системах критичної інфраструктури. Отже край важливим є усунення або локалізація дисбалансів між інформаційним навантаженням та вимогами сучасних сервісів з одного боку, та обмеженими характеристиками сучасних інфокомунікацій щодо їх продуктивності. Для цього створюється та використовується комплекс різних інформаційно-технічних концепцій та засобів. Аналіз відеоінформаційних ресурсів показав наявність для них значної кількості різних залежностей, в тому числі семантичних, структурно-статистичних та психовізуальних. Це дозволяє стверджувати щодо потреби у розвитку технологій кодування відеоданих. З одного боку означені концептуальні підходи дозволяють будувати методи стиснення, які створюють потенціал для зменшення бітової інтенсивності відеоданих. Однак, з іншого боку такі підходи мають множинну недоліків. Отже потрібно розробити технологічну концепцію відносно врахування контекстно-зв'язаних залежностей в нерівномірних структурних складових відеосегментів. Для побудови технології компресійного кодування необхідно розробити концептуальну методологію. За результатами досліджено створено концепцію блокового кодування нерівномірних діагональних послідовностей в двовимірному спектральному просторі трансформанти на основі формування кодового значення усічено-позиційним числам. Це дозволяє врахувати комбінаторні конфігурації трансформанти за нерівномірною діагональною текстурою та усунути кількість відповідних типів надмірності без втрати цілісності відеоінформації.

Ключові слова: відеосегменти, діагонально-залежні особливості, компресійне кодування, надмірність.

Shulgin S.

METHODOLOGY FOR CREATING THE CONCEPT OF COMPRESSION CODING OF TRANSFORMED VIDEO SEGMENTS

The emergence of an imbalance in the process of presenting video information services using telecommunication systems is thoroughly proved. It is argued that this imbalance induces: the destruction of segments of the infocommunication system, the destruction of electronic network equipment, damage to energy infrastructure facilities. Hence we have the following negative consequences: loss of properties of the information resource; creation of vulnerable factors regarding the loss of an adequate level of information security; the formation of destabilizing factors to increase the effectiveness of destructive information and cyber attacks by the enemy; loss of management quality in critical infrastructure systems. Therefore, it is important to eliminate or localize imbalances between the information load and the requirements of modern services on the one hand, and the limited characteristics of modern infocommunications regarding their performance. For this purpose, a complex of various information and technical concepts and means is created and used. Analysis of video information resources showed the presence for them of a

significant number of different dependencies, including semantic, structural-statistical and psychovisual. This suggests the need for the development of video data coding technologies. On the one hand, these conceptual approaches allow us to build compression methods that create the potential to reduce the bit intensity of video data. However, on the other hand, such approaches have many disadvantages. Therefore, it is necessary to develop a technological concept for taking into account context-related dependencies in uneven structural components of video segments. To build compression coding technologies, it is necessary to develop a conceptual methodology. According to the results, the concept of block coding of uneven diagonal sequences in the two-dimensional spectral space of transformants based on the formation of the code value of truncated-positional numbers was created. This allows you to take into account the combinatorial configurations of the transformant according to an uneven diagonal texture and eliminate the number of appropriate redundancy types without losing the integrity of the video information.

Keywords: video segments, diagonal-dependent features, compression coding, redundancy.

Стаття надійшла до редакції 29.02.2023 р.

Прийнято до друку 12.04.2023 р.