

DOI: 10.18372/2310-5461.71.21449

УДК 004.622: 517.927

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

Перцев П. Д.
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0009-0002-1692-0090
e-mail: pavlo.pertsev@nure.ua;

МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ СЕГМЕНТІВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ СТИСНЕННЯ

Вступ

Питання стосовно захисту та підвищення оперативності доставки відеоінформаційних потоків є одним з вагомих напрямків науково-прикладних досліджень [1; 2]. Такі питання постають в процесі інформаційного забезпечення систем аналізу та прийняття рішень в автономному або автоматизованому режимах [3]. Особливо це стосується сфери застосувань в інтересах критичної інфраструктури. Критичним фактором тут є обмеженість та нерівномірність зміни швидкості передачі даних в інформаційно-комунікаційних мережах [4; 5]. Це призводить до виникнення дисбалансу з рівнем інформаційного навантаження. Наслідком чого є випадки втрати пакетів, руйнування контенту відеопотоку, виникнення часових затримок в процесі доставки інформації [6].

Для управління інформаційною інтенсивністю застосовується множина технологічних рішень. Це стосується в основному використання механізмів маршрутизації інформаційних потоків [7; 8]. Однак такий підхід має ряд обмежень. Це стосується того, що: загальний рівень інформаційної інтенсивності залишається незмінним, а лише здійснюється його перерозподіл; не враховується надмірність відеоінформаційного потоку, яку можна було б враховувати в межах збереження потрібного рівня цілісності [9].

Отже одним з напрямків подолання означеного дисбалансу є використання технологій управління інтенсивністю в процесі стиснення відеопотоку [10; 11]. В цьому разі стиснення відеоданих забезпечується в умовах адаптації до поточної швидкості передачі даних в мережі. Водночас для технологій стиснення існує ряд характерних недоліків [12; 13]. Це стосується: збільшення часових затримок на здійснення уп-

равління параметрами кодека; обмеженості можливостей щодо додаткового зменшення бітового об'єму без врат інформації [14].

Звідси **актуальним науково-прикладним завданням** є підвищення ефективності управління інтенсивністю відеоінформаційного потоку для передачі в інформаційно-комунікаційних мережах з використанням систем стиснення.

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

В сучасних технологіях стиснення відео потоків, до яких відносяться HEVC [15; 16] та VVC [17], управління інформаційною інтенсивністю (бітрейтом) здійснюється в залежності від рівня показника MSE (середньоквадратичного відхилення між початковим та відновленим відеокадрами потоку) [18; 19]. Такі дії проводяться на етапі побудови квадро-дерева та вибору кроку квантування трансформованих залишкових блоків [20; 21]. Перший напрямок стосується адаптивного вибору розмірів відео-блоків, для яких буде здійснюватись послідовна обробка [22; 23]. На кожному кроці побудови квадро-дерева визначається можливість декомпозиції поточних відео блоків на блоки менших розмірів. Відповідні рішення приймаються в залежності від можливості потенційно зменшити рівень цільової функції. Рівень такої функції залежить від рівня бітрейта та показника MSE [24; 25].

Другий варіант управління рівнем бітрейту полягає у виборі кроку квантування. Особливість цього етапу кроїться у дискретизації спектрального простору залишкових блоків [26]. Це створює додаткові властивості щодо зменшення рівня ентропії та бітрейту.

Постановка проблеми

Потрібно зауважити, що існуючі підходи щодо управління режимом стиснення відеопотоку мають пені недоліки. Вони стосуються наступного [27; 28]:

- збільшення часу обробки на побудову оптимального квадро-дерева;
- втрата рівня цілісності у разі збільшення кроку квантування;
- відсутність узгодження етапів побудови квадро-дерева з формуванням стратегії квантування.

Варіант локалізації та зменшення впливу таких недоліків на ефективність технології стиснення відеопотоку полягає у здійсненні передкласифікації відео-блоків за рівнем їх інформативності [29]. Це одночасно дозволить: визначити фрагменти відеокадрів, для яких буде рекомендована певна структура квадро-дерева; встановити рекомендації щодо меж зміни кроку квантування з допустимим впливом на рівень цілісності відеоданих [30; 31].

В якості базового рішення пропонується обирати підхід, який запропоновано в роботі [32; 33]. Тому **мета досліджень статті** стосується розробки методу класифікації відео-блоків за рівнем їх впливу на систему показників «бітрейт – середньоквадратичне відхилення» в технологіях стиснення відеоінформаційних потоків.

Розробка методу поділу локальних сегментів за класами складності згідно метрики оцінювання потенціальних властивостей для скорочення надмірності в яскравісному просторі

Поділ локальних сегментів $Sg(X_\gamma)_{i,j}^{(t)}$ на класи складності за можливістю щодо потенційної наявності кількості надмірності для врахування в процесі стиснення та стеганографічного вбудовування інформації проводиться на основі встановлення асоціативних залежностей. В загальному випадку така метрика може будуватися в спектрально-просторовому або просторово-часовому представленні локального сегменту.

На початковому етапі обробки сегментів відеозображень більш переважним є врахування залежностей в яскравісному просторі. Це зумовлено наступним:

- збільшенням складності процесу обробки та відповідно зростання часових затримок, які пов'язані з представленням сегментів в спектральному просторі. Саме на перетворення локального сегменту в просторово-спектральний опис потрібно витратити досить значну кількість арифметичних операцій. Наприклад, у разі використання дискретно-косинусного перетворення потрібно ви-

тратити кількість операцій такого порядку, як: n^3 операцій множення та n^3 операцій складання/віднімання. Такі значення можуть становити до 80 % від загальної кількості операцій, що витрачається на всю обробку відеозображення. Крім того не досягається можливість щодо попереднього скорочення кількості даних, які поступають на подальше кодування, в умовах потрібного рівня цілісності. Отже, створюються умови для втрати доступності всього відеоресурсу у зв'язку з виникненням суттєвих часових затримок на обробку відеозображень;

- унеможливлення врахування значимих залежностей, які можливо встановити лише для яскравісного простору сегментів;
- втрачається можливість проведення обробки в яскравісному просторі.

Звідси існує необхідність організовувати поділ локальних сегментів за класами складності в його просторово-часовому (яскравісному) описі. Одним із ефективних підходів тут є використання технологічних механізмів, пов'язаних із виявленням та параметризацією послідовностей однорідності (ПОД).

Послідовність $Xg_\gamma(t)_{(\alpha)}$ однорідності може виявлятися за двома стратегіями в залежності від врахування властивості когерентності. Такі послідовності представляють собою локальні ділянки або весь локальний сегмент $Sg(X_\gamma)_{i,j}^{(t)}$, значення елементів $x(t)_{\alpha,\gamma+\tau}$ якого знаходяться в межах попередньо визначеного кроку δg квантування яскравісного простору. Така ознака характеризує допустимі зміни яскравісного простору с позиції відсутності втрат семантичної цілісності відеоресурсу. З іншого боку таку спотворення можуть бути зумовлені скороченням кількості надмірності для збільшення рівня стиснення або кількості інформації, яка приховується. У загальному випадку послідовність однорідності утворюється елементами, що задовольняють заданому порядку розташування. Тут можливі наступні варіанти:

- якщо $\delta g = 0$, то послідовність однорідності визначається, як область яскравісної серії (перша стратегія);
- якщо $\delta g \geq 1$, то послідовність однорідності визначається, як область яскравісної однорідності, або область в квантово-яскравісному просторі.

У цьому випадку на основі використання даної системи умов забезпечується виявлення ПОД та їх параметризація (формування параметрів опису). Відповідно, формуються кількісні параметри для побудови асоціативних правил щодо визначення складності локального сегменту за

структурними властивостями. При цьому враховується неоднорідність локальних ділянок, що може бути пов'язано з наявністю елементів об'єктів інтересу.

Для врахування двовимірного характеру структурних та семантичних зв'язків між елементами у відеозображенні можливий обхід елементів в для виявлення ПОД за діагональним принципом/Такий принцип дозволяє [33]:

1) створити умови для збільшення розмірів ПОД, тобто збільшити кількість елементів, які є когерентними за кроком δg квантування, у випадку, коли обхід локального сегменту проводиться по рядках або по стовпцях;

2) обмежити зони виявлення ПОД локальними ділянками відеозображень для збільшення можливості виявлення саме локальних властивостей.

Базовими параметрами виявлення структурних властивостей локального сегменту з використанням формування ПОД є крок δg квантування та кількість елементів ℓ_α в ПОД.

За рахунок виявлення ПОД, забезпечується локалізація властивостей відеозображення у просторовій області. До таких властивостей відносяться статистичні, структурні залежності та психовізуальні особливості візуального сприйняття відеозображень. Тому опис відеозображення сукупністю, виявлених ПОД, дозволяє:

– кількісно оцінити структурні закономірності ділянок локального сегменту;

– класифікувати локальний сегмент за ступенем насиченості структурними деталями окремих його ділянок;

– створити умови для оцінки кількості різних видів надмірності (статистичної, структурної та психовізуальної).

Розглянемо формування метрики кількісної оцінки рівня складності локального сегменту $Sg(X_\gamma)_{i,j}^{(t)}$ з використанням виявлення та параметризації ПОД за кроком δg квантування у двовимірному просторі у напрямку діагональної розгортки або за рядками.

Тут необхідно враховувати, що метрика має бути адекватною, чутливою та задовольняти вимогам щодо її асоціативної відповідності реальній насиченості локального сегменту структурними компонентами об'єктів інтересу.

Під адекватністю розуміється встановлення достатньо точної відповідності між величиною метрики та рівнем складності локального сегменту за властивостями, що створюють можливість для виявлення та скорочення надмірності та приховування інформації.

Під чутливістю будемо розуміти властивість, яка полягає в тому, що зміни реального рівня складності локального сегменту повинні відображатися у відповідній зміні (зміні як кількісного значення метрики, так і напрямку зміни такого значення) значення метрики.

Під асоціативною відповідністю розуміється пряма пропорційна залежність між значенням показника та фізичним змістом того процесу, для кількісної оцінки якого він розробляється. Тобто, якщо рівень складності збільшується, то й значення метрики теж повинне зростати.

У зв'язку з чим пропонується використовувати залежність, що характеризує інформаційну складність локального сегменту $Sg(X_\gamma)_{i,j}^{(t)}$ щодо в умовах виявлення структурних властивостей ділянок на основі формування ПОД. Тоді, з позиції запропонованого підходу для виявлення та параметризації структурних властивостей, буде наступна відповідність:

1) локальні сегменти з низьким рівнем складності (низько-інформативні), тобто переважанням однорідного фону характеризуються тим, що :

– яскравісні перепади можна виявити в основному для значення кроку δg квантування, яке не перевищує рівня $\delta g \leq 4$;

– довжина $\bar{\ell}(t)_\alpha$ ПОД в середньому буде не менш ніж $\bar{\ell}(t)_\alpha > 8$, а їх кількість $w_{ld}^{(t)}$ в середньому скорочується до рівня $w_{ld}^{(t)} \leq 2$;

2) локальні сегменти з низько-надмірними властивостями, тобто з високим рівнем складності відрізняються наявністю значної неоднорідності, для яких присутні такі властивості:

– значимі яскравісні перепади, які встановлюються також у разі збільшення значення кроку δg квантування, наприклад $\delta g \geq 16$;

– з одного боку, зменшення середньої довжини $\bar{\ell}(t)_\alpha$ ПОД, тобто скорочення кількості її елементів, наприклад, їх кількість $\bar{\ell}(t)_\alpha$ в середньому не перевищує 4, $\bar{\ell}(t)_\alpha \leq 4$. З іншого боку збільшення кількості ділянок, які описуються як ПОД, тобто їх середня кількість $w_{ld}^{(t)}$ буде не менш, ніж 3, $w_{ld}^{(t)} \geq 3$;

3) локальні сегменти, які мають властивість щодо середнього рівня інформативності в яскравісному просторі, характеризуються тим, що:

– яскравісні перепади визначаються в умовах, коли $\delta g \leq 8$;

– довжина $\bar{\ell}(t)_\alpha$ ПОД збільшується відносно попереднього випадку до рівня, коли $3 \leq \bar{\ell}(t)_\alpha \leq 8$;

– середня кількість $w_{ld}^{(t)}$ ПОД навпаки буде зменшуватись, тобто $2 \leq w_{ld}^{(t)} \leq 3$;

Отже адекватним буде варіант, коли значення рівня складності локального сегменту збільшується зі зростанням кількості ПОД та зниженням їх довжин. Відповідно, чим більше буде кількість та значимість яскравісних перепадів (переходів), тим більше рівень інформативності локального сегменту. Навпаки, якщо локальний сегмент містить однорідні області, для яких кількість яскравісних перепадів (переходів) зменшується, а отже збільшується довжина $\bar{\ell}(t)_\alpha$ ПОД, та зменшується їх кількість $w_{ld}^{(t)}$, то для нього відповідно збільшується потенціал щодо виявлення надмірності та збільшення потенціалу відносно кількості інформації, яка може бути вбудованою з використанням стеганографічних методів.

Звідси слідує те, що ключовою складовою локального сегменту є поняття площі двовимірної області. Тобто, необхідно враховувати співвідношення між площею локального сегменту зі значними яскравісними перепадами і площею незначних змін яскравості з позиції кроку δg квантування. Відповідно, чим більша частота яскравісних перепадів (переходів), та площа, яка відводиться під дрібні деталі та контурні перепади, тим вище рівень складності.

Тому величина метрики $\delta g(x; u)$ повинна залежати від $\ell(t)_\alpha$, $w_{ld}^{(t)}$. При цьому потрібно забезпечити її чутливість щодо зміни значень величин $\ell(t)_\alpha$, $w_{ld}^{(t)}$ та ефективну інтерпретацію площі двовимірних областей. Звідси, можливі наступні варіанти:

Перший варіант. Тут можна використовувати квадратичну залежність міри $\delta g(x; t)$ від величин $\ell(t)_\alpha$, тобто:

$$\delta g(x; t) \sim \ell(t)_\alpha^2.$$

Квадратична метрика дозволяє збільшити відстань між сусідніми рівнями складності локального сегментів. Тоді метрику $\delta g(x; t)$ пропонується оцінювати за такою формулою:

$$\delta g(x; t) = \frac{1}{w_{ld}^{(t)} \cdot n^2} \cdot \sum_{\alpha=1}^{w_{ld}^{(t)}} \ell(t)_\alpha^2.$$

Водночас такий підхід до побудови метрики складності має наступні недоліки:

1) не враховує фонові ділянки, які розташовані в різних кутках сегменту, тобто розподілену

по сегменту фонову область буде враховано як неоднорідні структурні частини;

2) посилення довжин векторів однорідностей (допустимої когерентності) за квадратичною функцією призводить до зниження адекватності відповідності метрики до змісту контенту сегменту. Наприклад, близькі за значенням довжини 2 та 3 будуть за квадратичним посиленням будуть вже мати значення відповідно 4 та 9. Тобто різниця буде перевищувати 2 рази. Отже квадратичне посилення може формувати не адекватну метрику щодо контенту сегменту;

3) враховує лише залежності структурного типу. Водночас додаткове врахування сукупності залежностей дозволить більш адекватно вимірювати рівень інформативності або асоціативну кількість надмірності сегменту. Відповідно це надасть можливість для побудови більш ефективної системи стиснення та стеганографічного вбудовування інформації.

Для усунення таких недоліків пропонується використовувати посилення на основі пропорційних коефіцієнтів $k(u)_\alpha$. Для усунення означених недоліків до вибору величин таких коефіцієнтів $k(u)_\alpha$ висувають наступні умови:

1) забезпечити лінійно-пропорційну залежність від довжини $\ell(u)_\alpha$ послідовності однорідності (ПОД) $L(u)$, тобто чим більше значення довжини ПОД, тим більше значення відповідного коефіцієнту $k(u)_\alpha$:

$$k(u)_\alpha \sim \ell(u)_\alpha;$$

2) враховувати наявність однорідного фону в різних кутках сегменту (розподілений по сегменту фон);

3) для побудови коефіцієнтів використовувати інші типи залежностей щодо структурних, які використовуються для виявлення ПОД у сегменті відеоресурсу.

Для задоволення висунутим вимогам *пропонується* коефіцієнти $k(u)_\alpha$ визначати за ймовірностями $p(w_\alpha)$ елементів w_α динамічного алфавіту $W_{i,j}$ поточного сегменту $Sg(X_\gamma)_{i,j}$. При цьому такі коефіцієнту повинні бути зв'язаними з послідовністю однорідності. Тому в якості елементів, для яких оцінюватиметься ймовірність, пропонується обирати вагу w_α послідовності однорідності $X(u)_\alpha$ за яскравісною ознакою.

Тоді в залежності від стратегії побудови послідовності однорідності $X(u)_\alpha$ коефіцієнти $k(u)_\alpha$ посилення визначаються за наступним планом:

1. Преша стратегія – побудова послідовностей однорідностей проводиться за умов врахування лише структурних ознак. В цьому випадку однорідними вважаються послідовності $X(u)_\alpha$, які мають елементи $x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha}$ з однаковими значеннями, тобто $x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \in X(u)_\alpha$, якщо $x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} = x(u)_{\alpha, \gamma+\tau-1} = \beta_\alpha$ та навпаки. Це описується системою співвідношень:

$$x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} = \begin{cases} x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha}, & \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} = \beta_\alpha; \\ x(u)_{\alpha+1, \gamma}, & \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \neq \beta_\alpha. \end{cases}$$

Для такої стратегії визначення ймовірностей варіант $x(u)_\lambda$ у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$ проводиться в його початковому яскравісному просторі. Варіантою позначається рівень яскравості сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$. Можна припустити, що кількість варіант у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$ або потужність алфавіту $A(X)_{i,j}^{(u)}$ сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ за значеннями ваги його послідовностей однорідності $X(u; \lambda)_\theta$ дорівнюватиме величині Λ . Зрозуміло, що у разі побудови послідовностей однорідностей їх вага w_θ буде дорівнювати одній з варіант яскравісного простору сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $w_\theta = x(u)_\lambda$. При цьому потрібно враховувати те, що варіанти можуть бути розташовані в різних кутках сегменту. Тоді в загальному випадку у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$ може бути декілька Θ_λ послідовностей $X(u; \lambda)_\theta$ однорідностей, ваги w_θ яких матимуть однакові значення варіант, тобто $w_\theta = x(u)_\lambda$, $\theta = \overline{1, \Theta_\lambda}$.

Отже утворюється сукупність (множина) $X(u; \Theta_\lambda)$ послідовностей $X(u; \lambda)_\theta$ однорідності, що мають вагу w_θ , значення якої дорівнює елементу $x(u)_\lambda$, $X(u; \lambda)_\theta \in X(u; \Theta_\lambda)$.

Відповідна загальна кількість $n(x(u)_\lambda)$ варіант зі значенням $x(u)_\lambda$ у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$ обчислюватиметься виразом: $n(x(u)_\lambda) = \sum_{\theta=1}^{\Theta_\lambda} \ell(u; \lambda)_\theta$.

Тут $\ell(u; \lambda)_\theta$ - довжина послідовності однорідності $X(u; \lambda)_\theta$.

З врахуванням такої особливості ймовірність $p(x(u)_\lambda)$ появи елементу $x(u)_\lambda$ у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$, значення якого дорівнює одній або декілька вагам w_θ послідовностей однорідності за яскравісною ознакою буде визначатися наступним чином:

$$p(x(u)_\lambda) = \frac{n(x(u)_\lambda)}{n \cdot n} = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta_\lambda} \ell(u; \lambda)_\theta}{n \cdot n},$$

де λ – індек варіанти у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $\lambda = \overline{1, \Lambda}$; n – лінійний розмір сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$; $\ell(u; \lambda)_\theta$ – довжина послідовності однорідності $X(u; \lambda)_\theta$; Λ – кількість варіант у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$ або потужність алфавіту $A(X)_{i,j}^{(u)}$ сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ за значеннями ваги його послідовностей однорідності $X(u; \lambda)_\theta$; Θ_λ – кількість послідовностей однорідності, вага w_θ яких дорівнює значенню $x(u)_\lambda$ (λ -й елемент алфавіту $A(X)_{i,j}^{(u)}$); $X(u; \lambda)_\theta$ – послідовність однорідності сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$, вага w_θ якої дорівнює значенню елементу $x(u)_\lambda$ або θ -а послідовність однорідності, вага якої дорівнює λ -му елементу алфавіту $A(X)_{i,j}^{(u)}$, $X(u; \lambda)_\theta \in X(u; \Theta_\lambda)$.

Звідси коефіцієнт $k(u)_\alpha$ посилення для довільної послідовності $X(u)_\alpha$ однорідності за умов $w_\alpha = x(u)_\lambda$ встановлюватиметься на рівні:

$$k(u)_\alpha = p(x(u)_\lambda) = \frac{1}{n \cdot n} \cdot \sum_{\theta=1}^{\Theta_\lambda} \ell(u; \lambda)_\theta. \quad (1)$$

2. Друга стратегія. Побудова послідовностей однорідностей проводиться за умов врахування структурних та психовізуальних ознак. Тоді яскравісний простір сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ кантується за кроком δ_{loc} . В цьому випадку однорідними вважаються послідовності $X(u)_\alpha$, які мають елементи $x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha}$ згідно до наступної системи:

$$x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} = \begin{cases} x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha}, \\ \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \in [\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]; \\ x(u)_{\alpha+1, \gamma}, \\ \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \notin [\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]. \end{cases}$$

Для такої стратегії визначення ймовірностей варіант $x(u)_\lambda$ у сегменті $S(X)_{i,j}^{(u)}$ проводиться в квантованому яскравісному просторі. Варіантою $x(u)_\lambda$ позначається квант-рівень яскравості сегменту $S'(X)_{i,j}^{(u)}$.

Відповідно кількість Λ' варіант $x(u)_{\lambda'}$ в квантованому просторі сегменту $S'(X)_{i,j}^{(u)}$ буде меншою ніж величина Λ для початкового простору, $\Lambda' \leq \Lambda$. Відповідно потужність алфавіту позначатимемо, як $A'(X)_{i,j}^{(u)}$.

Зрозуміло, що одна квант-варіанта $x(u)_{\lambda'}$ може бути вагою w_0 декількох $\Theta_{\lambda'}$ послідовностей $X(u; \delta_{loc}; \lambda')_{\theta'}$ однорідності, що розташовані в різних кутках квантово-яскравісного простору сегменту $S'(X)_{i,j}^{(u)}$. Тобто маємо сукупність $X(u; \delta_{loc}; \Theta_{\lambda'})$ послідовностей, вага яких дорівнює величині квант-варіанти $x(u)_{\lambda'}$.

З врахуванням цього кількість $n(x(u)_{\lambda'})$ елементів $x(u)_{\lambda'}$ в перерахунок на початковий яскравісний простір сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ буде визначатися формулою:

$$n(x(u)_{\lambda'}) = \sum_{x(u)_{\lambda'} \in \Delta \Lambda'_{nat, \theta'}} n(x(u)_{\lambda}).$$

В цій формулі область значень $\Delta \Lambda_{nat, \theta'}$ формується, як множина натуральних чисел, які належать діапазонам $\beta_{\alpha} - \frac{\delta_{loc}}{2} \leq x(u)_{\lambda'} \leq \beta_{\alpha} + \frac{\delta_{loc}}{2}$ з врахуванням кроку δ_{loc} квантування яскравісного простору, тобто:

$$\Delta \Lambda_{nat, \theta'} : \beta_{\alpha} - \frac{\delta_{loc}}{2} \leq x(u)_{\lambda'} \leq \beta_{\alpha} + \frac{\delta_{loc}}{2}.$$

В свою чергу величини $n(x(u)_{\lambda})$ обчислюються виразом $n(x(u)_{\lambda}) = \sum_{\theta=1}^{\Theta_{\lambda}} \ell(u; \lambda)_{\theta}$. Тут $\ell(u; \lambda)_{\theta}$ – довжина послідовності однорідності $X(u; \lambda)_{\theta}$ в початковому яскравісному просторі сегменту. Тоді матимемо:

$$n(x(u)_{\lambda'}) = \sum_{x(u)_{\lambda'} \in \Delta \Lambda'_{nat, \theta'}} \sum_{\theta=1}^{\Theta_{\lambda}} \ell(u; \lambda)_{\theta}.$$

Використовуючі означену формулу можна обчислити відповідні ймовірності появи квант-варіант $x(u)_{\lambda'}$ через пов'язану кількість елементів $x(u)_{\lambda}$ початкового яскравісного простору, що належать множині $\Delta \Lambda_{nat, \theta'}$. Отже маємо:

$$\begin{aligned} p(x(u)_{\lambda'} \in \Delta \Lambda'_{nat, \theta'}) &= \frac{1}{n \cdot n} \cdot \sum_{x(u)_{\lambda'} \in \Delta \Lambda'_{nat, \theta'}} n(x(u)_{\lambda'}) = \\ &= \frac{1}{n \cdot n} \cdot \sum_{x(u)_{\lambda'} \in \Delta \Lambda'_{nat, \theta'}} \sum_{\theta=1}^{\Theta_{\lambda}} \ell(u; \lambda)_{\theta}. \end{aligned}$$

Звідси коефіцієнт посилення оцінюється, як:

$$k(u)_{\alpha} = \frac{1}{n \cdot n} \cdot \sum_{x(u)_{\lambda'} \in \Delta \Lambda'_{nat, \theta'}} \sum_{\theta=1}^{\Theta_{\lambda}} \ell(u; \lambda)_{\theta}. \quad (2)$$

Висновки

1. Створено метод визначення метрики для асоціативного оцінювання та класифікації локальних сегментів за їх спроможностями з врахуванням сукупності структурних та статистичних властивостей відносно усунення кількості надмірності та приховування інформації. Метрика будується з врахуванням: наявності структурних, статистичних та психовізуальних залежностей в яскравісному просторі; наявності розподільного фону по куткам сегменту; пропорційності впливу статистичних та структурних залежностей на значення класифікаційної метрики.

2. На основі врахування коефіцієнтів посилення для побудови метрики досягається:

- на основі врахування декількох залежностей сегментів побудувати метрику оцінювання рівня його складності на основі врахування сукупності різних типів залежностей, а саме: структурних, психовізуальних та статистичних;

- за фізичною інтерпретацією метрика асоціативно пов'язана з потенційною кількістю надмірності сегменту;

- врахувати наявність розподіленого по різних куткам яскравісного фону сегменту;

- збільшити адекватність метрики до властивостей сегменту щодо потенційних можливостей для забезпечення стиснення та стеганографічного приховування інформації.

Визначену метрику пропонується враховувати для класифікації сегментів щодо наявності потенційних властивостей для врахування в процесі стиснення та управління бітрейтом.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Barannik, V., Barannik, D., Babenko, M., Prokopenko, R., Akimov, O., & Petrukha, N. (2026). Devising a method for complex steganographic embedding of information in the structural-psychovisual space. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(9 (139)), 19–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.351181>.
- [2] Alakuijala, J., Boukourt, S., Ebrahimi, T., Kliuchnikov, E., Sneyers, J., Upenik, E., Vandevenne, L., Versari, L., & Wassenberg, J. Benchmarking JPEG XL image compression. *Optics, Photonics and Digital Technologies for Imaging Applications VI*, SPIE, 2020, vol. 11353, pp. 187–206. DOI: 10.1117/12.2556264.
- [3] A. Alimpiev, V. Barannik, S. Podlesny, O. Suprun and A. Bekirov, "The video information resources integrity concept by using binomial slots," 2017 XIIIth International Conference on Perspective

- Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 193–196, doi: 10.1109/MEMSTECH.2017.7937564.
- [4] Fang Y. Distributed Arithmetic Coding for Uniform Sources / Y. Fang // IEEE Transactions on Information Theory. 2023. Vol. 69. no. 1. P. 47–74. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIT.2022.3221289>.
 - [5] Barannik V., Sidchenko S., Barannik D., Barannik V., Datsun, A. (2021). Devising a conceptual method for generating cryptocompression codograms of images without loss of information quality. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (2 (112)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237359>.
 - [6] Bross B., Chen J., Kounnas C., Ohm J., Sullivan G. J., Wang Y.-K., Xu J., & Ye, Y. General video coding technology in responses to the joint call for proposals on video compression with capability beyond HEVC. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2020. vol. 30. no. 5. P. 1226–1240. DOI: 10.1109/TCSVT.2019.2949619.
 - [7] Esenlik S. An Overview of the JPEG AI Learning-Based Image Coding Standard [Електронний ресурс] / S. Esenlik, Y. Wu, Z. Zhang [et al.]. – 2025. – (Preprint / arXiv:2510.13867). – URL: <https://arxiv.org/abs/2510.13867> (дата звернення: 23.12.2025). DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.13867>.
 - [8] Barannik V. V., Krivonos V. N., Hahanova A. V. "Coding tangible component of transforms to provide accessibility and integrity of video data," East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013), 2013, pp. 1–5, doi: 10.1109/EWDTS.2013.6673179.
 - [9] Bross B. Overview of the Versatile Video Coding (VVC) Standard and its Applications / B. Bross [et al.] // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2021. Vol. 31, no. 10. P. 3736–3764. DOI: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.
 - [10] Belikova T. Decoding Method of Information-Psychological Destructures in the Phonetic Space of Information Resources. Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of the 2nd IEEE International Conference, 2020. P. 87–91. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349300>.
 - [11] V. Barannik and A. Shiryayev, "Quadrature compression of images in polyadic space," Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2012, pp. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484.
 - [12] Hendrawan A. A novel YOLO-aria approach for real-time vehicle detection and classification in urban traffic / A. Hendrawan, R. Gernowo, O. D. Nurhayati1, C. Dewi // International Journal of Innovative Engineering and Sciences. 2024. Vol. 9, no. 2. P. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.22266/ijies2024.0229.38>.
 - [13] Krasnorutsky A. et al.: "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.
 - [14] Hussain J.A., Al-Fayadh A. and Radi N. Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms. Neurocomputing. 2018. vol. 300. P. 44–69, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.094>
 - [15] Joint Photographic Experts Group. JPEG AI Common Training and Test Conditions (CTTC). – [S.l.], 2022. – (ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 (JPEG) Document ; No. WG1N100106).
 - [16] Kountouris M., & Pappas N. Semantics-empowered communication for networked intelligent systems. IEEE Communications Magazine. 2021. vol. 59. no. 6. P. 96–102. DOI: 10.1109/MCOM.001.2000604.
 - [17] 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, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_25.
 - [18] Kim J. AI-based content-aware encoding at scale utilizing hardware resources in video ASICs for data center / J. Kim, A. Fomina, E. Baek [et al.] // Applications of Digital Image Processing XLVII: proceedings of SPIE. – 2024. – Vol. 13165. – Art. no. 1316503. – ISSN 0277-786X. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3031558>.
 - [19] V. Barannik, S. Shulgin, N. Barannik and V. Barannik, "Method of Coding Subbands of Non-Homogeneous Spectrum of Video Segments in Uneven Diagonal Space," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 72–75, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024236.
 - [20] Krasnorutsky A. et al. "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.
 - [21] Horvat T., Livada Č., & Baumgartner A. Novel Block Sorting and Symbol Prediction Algorithm for PDE-Based Lossless Image Compression: A Comparative Study with JPEG and JPEG 2000. Applied sciences. 2023. vol. 13. iss. 5. article no. 3152, pp. 2–34. DOI: 10.3390/app13053152.
 - [22] Баранник В. В. Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В. В. Баранник, Н. К. Гулак, Н. А. Королева // Радіоелектронні і

- комп'ютерні системи. - 2009. – № 1. С. 84–92. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2009_1_13
- [23] Ma Z. Deep Lossless Compression Algorithm Based on Arithmetic Coding for Power Data / Z. Ma, H. Zhu, Z. He, Y. Lu, F. Song // *Sensors*. 2022. Vol. 22. Art. no. 5331. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22145331>.
- [24] Barannik V. et al.: The method of masking overhead compaction in video compression systems, *Radioelectronic and Computer Systems*, 2(2021), 2021, 51–63. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.05>.
- [25] Babenko Y. et al. "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.
- [26] Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnyk V., Barannik V., Pchelnikov S., Zeleny P. Method of compression and ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks. *Radioelectronic and computer systems*, 2022, vol. 4, pp. 129–142. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2022.4.10>.
- [27] Rojas-Hernández, R., Díaz-de-León-Santiago, J. L., Barceló-Alonso, G., Bautista-López, J., Trujillo-Mora, V., & Salgado-Ramírez, J. C. Lossless medical image compression by using difference transform. *Entropy*. 2022. vol. 24. no. 7. article no. 951. DOI: 10.3390/e24070951.
- [28] Баранник В. В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2001. № 1. С. 17–25.
- [29] Pfaff J., Nguyen T. D. T., Schwarz H., Marpe D., & Wiegand T. Intra prediction and mode coding in VVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2021. vol. 31. no. 10. P. 3834–3847. DOI: 10.1109/TCSVT.2021.3072430.
- [30] Shao X., & Johnson S. G. Type-IV DCT, DST, and MDCT algorithms with reduced numbers of arithmetic operations. *Signal Processing*. 2008. vol. 88(6). P. 1313–1326. DOI: 10.1016/j.sigpro.2007.11.024.
- [31] Radosavljević M., Brkljač B., Lugonja P., Crnojević V., Trpovski Ž., Xiong Z., Vukobratović D. Lossy Compression of Multi-spectral Satellite Images with Application to Crop Thematic Mapping: A HEVC Comparative Study. *Remote Sensing*. 2020. vol. 12. 1590. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12101590>
- [32] Barannik, V., et al. Description of the OFDM symbol with the help of mathematical laws. Analysis of technologies that were used in this case (2017) 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings, art. no. 8020095, pp. 183–187. doi: 10.1109/AIACT.2017.8020095.
- [33] Бараннік, В., & Перцев, П. (2026). Метод визначення інформативності сегментів для систем інтелектуальної обробки відеоконтенту. Наукоємні технології, 70(2), 212–219. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.70.21197>.

Бараннік В. В., Перцев П. Д.

МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ СЕГМЕНТІВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ СТИСНЕННЯ

В статті показується актуальність питань, що пов'язано зі захистом та підвищенням оперативності доставки відеоінформаційних потоків. Особливо це стосується сфери застосувань в інтересах критичної інфраструктури. Критичним фактором тут є обмеженість та нерівномірність зміни швидкості передачі даних в інформаційно-комунікаційних мережах. Це призводить до виникнення дисбалансу з рівнем інформаційного навантаження. Одним з напрямків подолання означеного дисбалансу є використання технологій управління інтенсивністю в процесі стиснення відеопотоку. В цьому разі стиснення відеоданих забезпечується в умовах адаптації до поточної швидкості передачі даних в мережі. В сучасних технологіях стиснення відео потоків, до яких відносяться HEVC та VVC, управління інформаційною інтенсивністю (бітрейтом) здійснюється в залежності від рівня показника MSE (середньоквадратичного відхилення між початковим та відновленим відеокадрами потоку). Такі дії проводяться на етапі побудови квадро-дерева та вибору кроку квантування трансформованих залишкових блоків. Однак існуючі підходи щодо управління режимом стиснення відеопотоку мають пень недоліки. Варіант локалізації та зменшення впливу таких недоліків на ефективність технології стиснення відеопотоку полягає у здійсненні перед-класифікації відео-блоків за рівнем їх інформативності. Це одночасно дозволить: визначити фрагменти відеокадрів, для яких буде рекомендована певна структура квадро-дерева; встановити рекомендації щодо меж зміни кроку квантування з допустимим впливом на рівень цілісності відеоданих. Тому **мета досліджень статті** стосується розробки методу класифікації відео-блоків за рівнем їх впливу на систему показників «бітрейт – середньоквадратичне відхилення» в технологіях стиснення відеоінформаційних потоків. В статті викладається розробка методу визначення метрики для асоціативного оціню-

вання та класифікації локальних сегментів за їх спроможностями з врахуванням сукупності структурних та статистичних властивостей відносно усунення кількості надмірності та приховування інформації. Метрика будується з врахуванням: наявності структурних, статистичних та психовізуальних залежностей в яскравісному просторі; наявності розподільного фону по куткам сегменту; пропорційності впливу статистичних та структурних залежностей на значення класифікаційної метрики.

Ключові слова: відео-блок, інтенсивність; інформативність, стиснення, квадро-дерево, інформаційно-комунікаційні мережі.

Barannik V., Pertsev P.

METHOD OF SEGMENT CLASSIFICATION IN VIDEO STREAM INTENSITY MANAGEMENT SYSTEMS USING COMPRESSION TECHNOLOGIES

The article shows the relevance of issues related to the protection and improvement of the promptness of delivering video information streams. This applies especially to the area of applications in the interests of critical infrastructure. A critical factor here is the limited and uneven change in the data transmission rate in information and communication networks. This leads to an imbalance with the level of information load. One of the ways to overcome this imbalance is the use of intensity control technologies in the process of video stream compression. In this case, the compression of video data is provided under conditions of adaptation to the current data transmission rate in the network. In modern video stream compression technologies, which include HEVC and VVC, the control of information intensity (bitrate) is carried out depending on the level of the MSE indicator (mean square error between the original and reconstructed video frames of the stream). Such actions are performed at the stage of quad-tree construction and selection of the quantization step of the transformed residual blocks. However, existing approaches to controlling the video stream compression mode have certain disadvantages. An option to localize and reduce the impact of such disadvantages on the efficiency of video stream compression technology consists of pre-classifying video blocks by their informativeness level. This will simultaneously allow: identifying video frame fragments for which a specific quad-tree structure will be recommended; establishing recommendations regarding the limits of changing the quantization step with an acceptable impact on the level of video data integrity. Therefore, the purpose of the article's research concerns the development of a method for classifying video blocks according to their level of impact on the "bitrate - mean square error" system of indicators in video information stream compression technologies. The article presents the development of a method for determining a metric for associative evaluation and classification of local segments by their capabilities, taking into account a set of structural and statistical properties regarding the elimination of redundancy amount and information hiding. The metric is built taking into account: the presence of structural, statistical, and psychovisual dependencies in the luminance space; the presence of a distributed background at the corners of the segment; the proportionality of the impact of statistical and structural dependencies on the value of the classification metric.

Keywords: video block, intensity; informativeness, compression, quad-tree, information and communication networks.

Дата першого надходження: 13.07.2026 р.

Дата прийняття до друку: 10.08.2026 р.

Дата публікації: 10.09.2026 р.