

# МЕТОД ЕФЕКТИВНОГО СИНТАКСИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ АЕРОФОТОЗНІМКА, ЯКІ НЕСУТЬ ІНФОРМАЦІЮ ПРО ЛАНДШАФТ МІСЦЕВОСТІ З ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ СТУПЕНЮ ІНФОРМАТИВНОСТІ СЕМАНТИЧНОГО ЗМІСТУ

*Бараннік В.В., Бараннік Д.В., Красноруцький А.О., Мусієнко О.П.,  
Шульгін С.С.*

## **Вступ**

Одним з напрямів зниження інформаційної надмірності аерофотознімка, отриманого з борту безпілотного літального апарату (БПЛА), є виділення значимих і не значимих семантичних областей зображення. Отримані при аерофотозніманні зображення, як правило, є однорідними ділянками земної поверхні - ландшафтами. З точки зору цифрової обробки аерофотознімків, області ландшафту характеризуються невеликими значеннями динамічного діапазону елементів  $\{z_{i,j}\}$  представлення сегментів початкового зображення (значення сусідніх елементів матриці сегментів зображення відрізнятимуться не значно) [1-4]. З точки зору семантичної насиченості, ландшафтні області є незначимими. Для розробки методу ефективного синтаксичного представлення аерофотознімка на борту БПЛА пропонується використати особливості сегментів зображення, які несуть інформацію про ландшафти. Одним з напрямів зниження інформаційної інтенсивності сегментів початкового зображення є підходи локалізації структурно-комбінаторної надмірності [5-11]. Проте такі підходи зниження інформаційної інтенсивності мають ряд недоліків. Так, з одного боку, здійснюється усунення структурно-комбінаторної надмірності, обумовленої обмеженням в динамічному діапазоні, з іншої – такий підхід вимагає великих об'ємів службових даних. Отже існуючі підходи зниження інформаційної інтенсивності сегментів аерофотознімку, що несуть інформацію про ландшафт не є ефективними.

## **Побудова методу ефективного синтаксичного представлення сегментів, які несуть інформацію про ландшафт**

Для реалізації запропонованого методу ефективного синтаксичного опису сегментів зображення, що містять інформацію про ландшафти вимагається організувати виконання ряду етапів.

Для зручності роботи з інформацією про ландшафт аерофотознімок ділиться на множину сегментів  $Y_g$ . У кожному сегменті відбувається

формування масивів елементів  $Z_v$  розмірністю  $8 \times 8$  символів (для прикладу). Після цього виконується обробка елементів масивів сегменту в два етапи.

Етап 1. Обробка елементів першого масиву  $Z_1$  сегменту ( $\tau=1$ ):

1) перша дія передбачає формування системи основ  $\Omega_1$ . Для цього визначаються значення динамічних діапазонів  $w_i^{(1)}$  у рядках масиву  $Z_1$ :

$$w_i^{(1)} = \max_{1 \leq j \leq n} \{z_{ij}^{(1)}\} + 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Також виконується обчислення значень динамічних діапазонів  $\chi_j^{(1)}$  у стовпцях масиву  $Z_1$ :

$$\chi_j^{(1)} = \max_{1 \leq i \leq m} \{z_{ij}^{(1)}\} + 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Елементи  $\omega_{ij}^{(1)}$  системи основ  $\Omega_1$  масиву  $Z_1$  прийматимуть значення:

$$\omega_{ij}^{(1)} = \min(w_i^{(1)}, \chi_j^{(1)}), \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

На відміну від систем основ подальших масивів, для початкового масиву  $Z_1$  відповідатиме одноградаційна система основ:

$$\Omega_1 = \Omega_1^{(1)} = \{\omega_{ij}^{(1)}\}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}; \quad (4)$$

2) друга дія передбачає побудову кодограми для першого масиву сегменту, що містить інформацію про ландшафт. Кожна кодограма містить інформацію про значення коду  $E^{(\tau, \gamma)}$  рівного для  $\tau=1$ :

$$E^{(1, \gamma)} = \sum_{\theta=1}^{\Theta_{1, \gamma}} z_{\theta}^{(1, \gamma)} V_{\theta}^{(1, \gamma)}, \quad (5)$$

де  $\gamma$  - індекс нерівномірного позиційного числа;  $E^{(\tau, \gamma)}$  - код  $\gamma$ -го нерівномірного позиційного числа побудованого для  $\tau$ -го масиву елементів сегменту;  $z_{\theta}^{(1, \gamma)}$  -  $\theta$ -е значення  $\gamma$ -го нерівномірного позиційного числа для першого масиву сегменту:

$$Z_{1, \gamma} \in Z_1; \quad z_{1, \gamma} = \{z_{\theta}^{(1, \gamma)}\}, \quad \theta = \overline{1, \Theta_{1, \gamma}}; \quad (6)$$

де  $\Theta_{1, \gamma}$  - кількість елементів в  $\gamma$ -м нерівномірному позиційному числі першого масиву сегменту;  $V_{\theta}^{(1, \gamma)}$  - ваговий коефіцієнт елементу  $z_{\theta}^{(1, \gamma)}$  масиву.

Побудова нерівномірних позиційних чисел здійснюється на основі елементів сегменту  $Z_1$  у напрямку стовпців.

Виходячи з умови обмеження машинного слова (64 або 128 розрядів) в кодограму може входити як увесь масив, так і його окремі частини (стовпці,

рядки, частина стовпців, частина рядків). Таким чином, один масив може описувати не одна, а декілька кодограм.

Виходячи з вищесказаного, щоб уникнути переповнювання машинного слова завдовжки  $M$ , відбір елементів в нерівномірні позиційні числа проводиться на основі правила:

$$z_{ij}^{(1)} \in Z_{1,\gamma}, \text{ тобто } z_{\theta}^{(1,\gamma)} := z_{ij}^{(1)} \text{ якщо } V_{\theta}^{(1,\gamma)} \leq 2^M - 1; \quad (7)$$

$$z_{ij}^{(1)} \notin Z_{1,\gamma}, \text{ тобто } z_{\theta}^{(1,\gamma)} \neq z_{ij}^{(1)} \text{ якщо } V_{\theta}^{(1,\gamma)} > 2^M - 1. \quad (8)$$

Розглянемо загальний випадок формування нерівномірного позиційного числа, на основі частини масиву  $Z_1$  рис. 1.

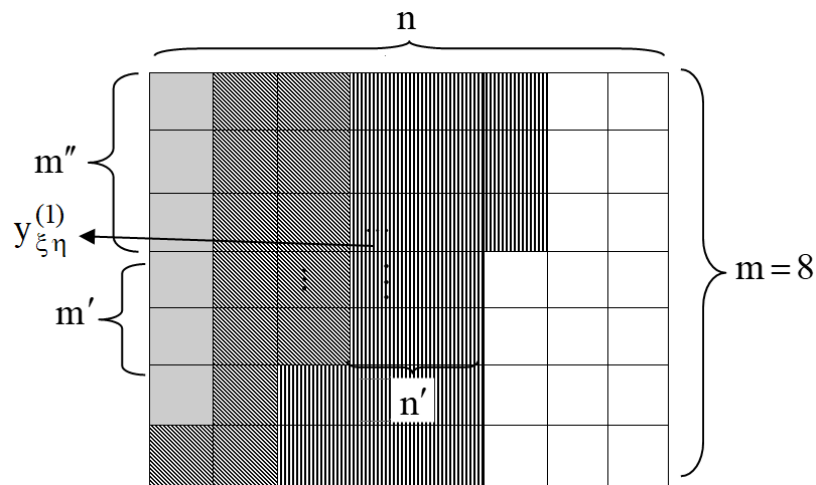


Рис. 1. Формування нерівномірного позиційного числа в масиві сегменту

Для початкового елемента  $\gamma$ -го нерівномірного позиційного числа з координатами  $(\xi;\eta)$  вираз (5) набере вид:

$$E_{\Theta_{1,\gamma}}^{(1,\gamma)} = \sum_{i=\xi}^m z_{i\eta}^{(1,\gamma)} V_{i\eta}^{(1,\gamma)} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=\eta+1}^{n'} z_{ij}^{(1,\gamma)} V_{ij}^{(1,\gamma)} + \sum_{i=1}^{m''} z_{i,n'+1}^{(1,\gamma)} V_{i,n'+1}^{(1,\gamma)} \quad (9)$$

де  $E_{\Theta_{1,\gamma}}^{(1,\gamma)}$  - кодове значення  $\gamma$ -го нерівномірного позиційного числа, що містить  $\Theta_{1,\gamma}$  елементів сегменту  $Z_1$ ;  $m'$ ,  $m''$  - кількість елементів у відповідно  $\eta$ -м і  $(n'+1)$ -м стовпцях сегменту;  $n'$  - ціла кількість стовпців, що входять до складу нерівномірного позиційного числа.

Кількість елементів  $\Theta_{1,\gamma}$  буде дорівнювати:

$$\Theta_{1,\gamma} = m' + m \cdot n' + m'' = (m - \xi) + m \cdot n' + m'', \quad (10)$$

Обчислення вагового коефіцієнта  $V_{ij}^{(1,\gamma)}$  буде відбуватись за виразом:

$$V_{ij}^{(1,\gamma)} = \begin{cases} \prod_{\varphi=i+1}^m \omega_{\varphi\eta}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^m \prod_{j=\eta+1}^{n'} \omega_{\varphi j}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^{m''} \omega_{\varphi, n'+1}^{(1)}, & \textcircled{R} \Theta_{1,\gamma} = m, \\ \prod_{\varphi=i+1}^m \omega_{\varphi j}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^m \prod_{u=j+1}^{n'} \omega_{\varphi u}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^{m''} \omega_{\varphi, n'+1}^{(1)}, & \textcircled{R} \Theta_{1,\gamma} = m \times n, \\ \prod_{\varphi=i+1}^{m''} \omega_{\varphi, n'+1}^{(1)} & \textcircled{R} \Theta_{1,\gamma} = m''. \end{cases} \quad (11)$$

Обробка масиву  $Z^{(1)}$  проводиться до тих пір, поки не буде проаналізований елемент  $z_{mn}^{(1)}$ . На виході цього етапу утворюються послідовність кодограм, що містять значення кодів  $E_{\Theta_{1,\gamma}}^{(1,\gamma)}$ ,  $\gamma = \overline{1, v}$  ( $v$  - кількість нерівномірних позиційних чисел для масиву  $Z_1$ ) і система основ  $\{w_i^{(1)}\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $\{\chi_j^{(1)}\}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

На рис. 2 надана модель першого етапу методу двохградацийного нерівномірного позиційного кодування з динамічним базисом основ.

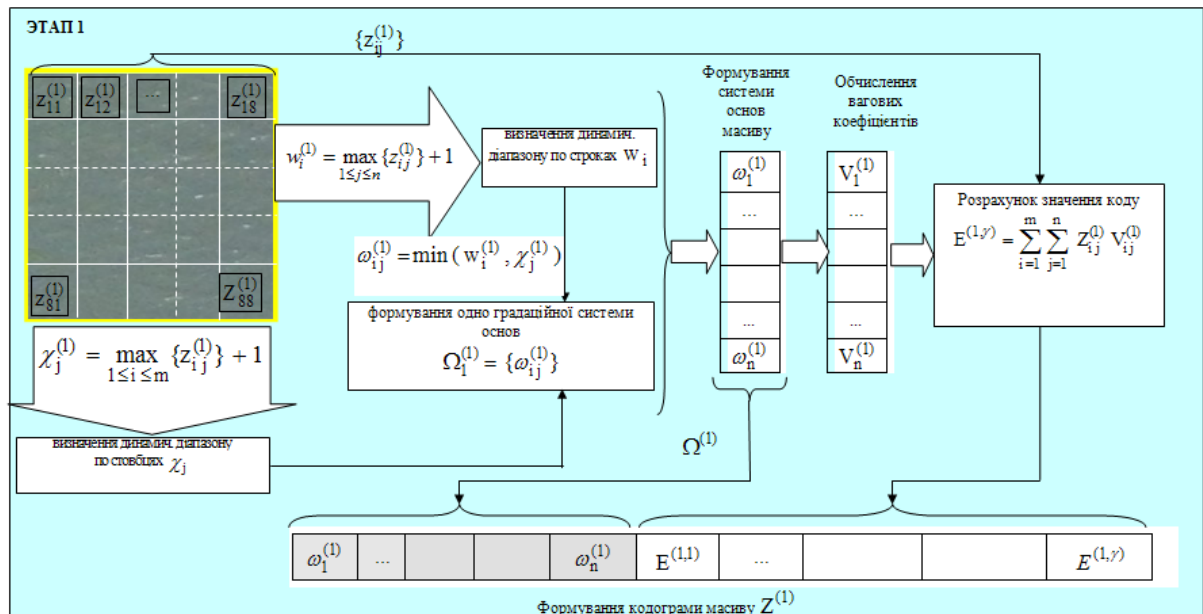


Рис. 2. Модель першого етапу методу двохградацийного нерівномірного позиційного кодування з динамічним базисом основ

Етап 2 (рис.3). Обробляється масив  $Z^{(\tau)}$  сегменту ( $\tau = 2 \dots v$ ). Особливість обробки масивів, що мають індекси  $\tau > 1$  полягає в тому, що :

- при побудові системи основ  $\Omega^{(\tau)}$  враховується система основ  $\Omega^{(\tau-1)}$  попереднього масиву (динамічна система основ);
- обчислення кодів проводиться з урахуванням формування двох типів нерівномірних позиційних чисел (двохградацийна система основ);

– для накопиченої кількості основ декількох масивів формується кодограма для їх компактного представлення.

Для реалізації цих особливостей обробка масивів  $\{Z^{(\tau)}\}$  сегменту  $Y_\tau$  повинна містити наступні операції:

1. Проводиться аналіз елементів масиву  $Z^{(\tau)}$  на їх приналежність одному з двох класів. Для цього перевіряється система нерівностей :

$$z_{ij}^{(\tau)} \in \begin{cases} Z_{\tau\gamma}, & \rightarrow z_{ij}^{(\tau)} < \omega_{ij}^{(\tau-1)} \\ Z'_{\tau\gamma}, & \rightarrow z_{ij}^{(\tau)} \geq \omega_{ij}^{(\tau-1)} \end{cases}, \quad (12)$$

де  $Z_{\tau\gamma}, Z'_{\tau\gamma}$  -  $\gamma$ -е нерівномірне позиційне число  $\tau$ -го масиву, побудованих відповідно для абсолютної і диференціальної (двохградацийної) систем основ.

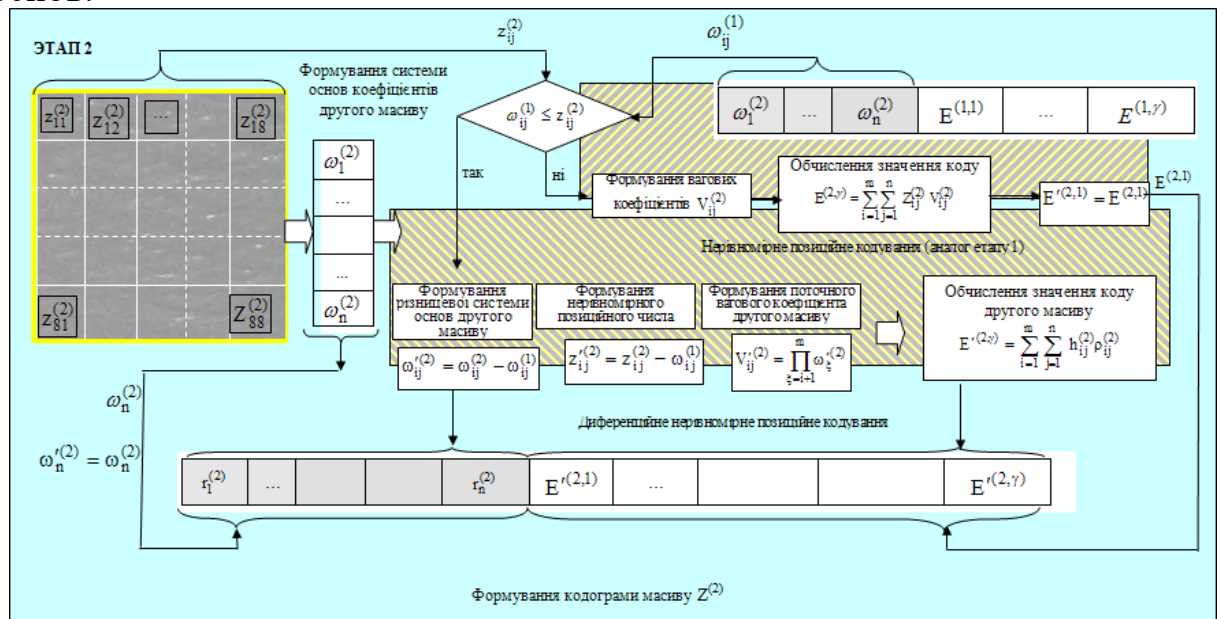


Рис. 3. Модель другого етапу методу двоградацийного нерівномірного позиційного кодування з динамічним базисом основ

2. Якщо при обробці елементів  $z_{ij}^{(\tau)}$  виконується перша частина нерівності (12), то вона належить абсолютному нерівномірному позиційному числу. Для забезпечення перевірки можливості переповнювання машинного слова при формуванні кодограми кодового представлення нерівномірного позиційного числа здійснюється перевірка нерівностей (7) і (8). У разі виконання нерівності (7), тобто  $z_{\theta}^{(\tau, \gamma)} := z_{ij}^{(\tau)}$  величина  $\theta$  збільшується на 1 і організовується перерахунок значення коду  $E_{\theta}^{(\tau, \gamma)}$  по рекурентній формулі:

$$E_{\theta}^{(\tau, \gamma)} = E_{\theta-1}^{(\tau, \gamma)} + z_{ij}^{(\tau, \gamma)} V_{ij}^{(\tau, \gamma)}, \quad (13)$$

де  $E_{\theta-1}^{(\tau, \gamma)}$  - значення коду для  $\gamma$ -го нерівномірного позиційного числа на попередньому кроці обробки (для  $(\theta-1)$ -го елементів).

Якщо виконується нерівність (8), то елемент  $z_{ij}^{(\tau)}$  буде першим елементом  $(z+1)$ -го нерівномірного позиційного числа, тобто  $z_1^{(1, \gamma+1)} := z_{ij}^{(\tau)}$ . Поточне значення коду  $E_1^{(\tau, \gamma+1)}$  визначається по формулі:

$$E_1^{(\tau, \gamma+1)} = z_{ij}^{(\tau, \gamma+1)}. \quad (14)$$

При цьому значення вагового коефіцієнта  $V_{ij}^{(\tau, \gamma)}$  обчислюється на основі системи основ  $\Omega_{\tau-1}$  попереднього масиву  $Z_{\tau-1}$ :

$$V_{ij}^{(1, \gamma)} = \begin{cases} \prod_{\varphi=i+1}^m \omega_{\varphi\eta}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^m \prod_{j=\eta+1}^{n'} \omega_{\varphi j}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^{m''} \omega_{\varphi, n'+1}^{(1)}, & \rightarrow \Theta_{1, \gamma} = m' \\ \prod_{\varphi=i+1}^m \omega_{\varphi j}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^m \prod_{u=j+1}^{n'} \omega_{\varphi u}^{(1)} \prod_{\varphi=1}^{m''} \omega_{\varphi, n'+1}^{(1)}, & \rightarrow \Theta_{1, \gamma} = m \cdot n, \\ \prod_{\varphi=i+1}^{m''} \omega_{\varphi, n'+1}^{(1)} & \rightarrow \Theta_{1, \gamma} = m'' \end{cases} \quad (15)$$

Формування коду  $E_{\theta}^{(\tau, \gamma)}$  проводиться за один прохід. Це пояснюється тим, що не вимагається будувати для масиву  $Z^{(\tau)}$  систему основ  $\Omega^{(\tau)}$  першого рівня (вона вже побудована в попередньому масиві  $Z^{(\tau-1)}$ ).

3. Для варіанту, коли виконується друга частина нерівності (12) для елементів  $z_{ij}^{(\tau)}$  формується система основ другого рівня  $\Omega_{\tau}^{(2)} = \{\omega_{ij}^{(\tau)}\}$ . Елементи  $z_{ij}^{(\tau)}$  належить диференціальному нерівномірному позиційному числу  $Z'_{\tau\gamma}$ . Перетворення елемента  $z_{ij}^{(\tau)}$  у елемент диференціального нерівномірного позиційного числа проводиться по формулі:

$$z'_{ij}^{(\tau)} = z_{ij}^{(\tau)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}. \quad (16)$$

Після чого обчислюється ваговий коефіцієнт  $V_{ij}^{(\tau, \gamma)}$ . Обчислення значення  $V_{ij}^{(\tau, \gamma)}$  організовується по аналогії з обчисленням вагового коефіцієнта  $V_{ij}^{(\tau, \gamma)}$ :

1) якщо поточне диференціальне нерівномірне позиційне число включає частину  $j$ -го стовпця масиву  $Z_{\tau}$ ;

2) якщо поточне диференціальне нерівномірне позиційне число включає частину  $j$ -го стовпця і  $n'$  повних стовпців масиву  $Z_{\tau}$ ;

3) якщо поточне диференціальне нерівномірне позиційне число включає частину  $j$ -го стовпця,  $n'$  повних стовпців і  $m'$  елементів  $(j-n'-1)$ -го стовпця масиву  $Y_\tau$ .

Система виразів для визначення вагового коефіцієнта з урахуванням різних варіантів формування нерівномірних позиційних чисел має вид:

$$V_{ij}^{(\tau, \gamma)} = \begin{cases} \prod_{\phi=m-m'+1}^{i-1} (\omega_{\phi j}^{(\tau)} - \omega_{\phi j}^{(\tau-1)}), & \rightarrow \Theta_{1, \gamma} = m'; \\ \prod_{\phi=1}^{i-1} (\omega_{\phi j}^{(\tau)} - \omega_{\phi j}^{(\tau-1)}) \prod_{\phi=1}^m \prod_{u=1}^{n'} (\omega_{\phi u}^{(\tau)} - \omega_{\phi u}^{(\tau-1)}), & \rightarrow \Theta_{1, \gamma} = m \cdot n; \\ \prod_{\phi=1}^{i-1} (\omega_{\phi j}^{(\tau)} - \omega_{\phi j}^{(\tau-1)}) \prod_{\phi=1}^m \prod_{u=1}^{n'} (\omega_{\phi u}^{(\tau)} - \omega_{\phi u}^{(\tau-1)}) \cdot \prod_{\phi=m-m'+1}^m (\omega_{\phi, j-n'-1}^{(\tau)} - \omega_{\phi, j-n'-1}^{(\tau-1)}) & \rightarrow \Theta_{1, \gamma} = m''; \end{cases} \quad (17)$$

На основі обчисленого значення величини  $V_{ij}^{(\tau, \gamma)}$  можна провести оцінку на приналежність елементу  $z_{ij}^{(\tau)}$  поточному диференціальному нерівномірному позиційному числу. Для цього перевіряється нерівність:

$$V_{ij}^{(\tau, \gamma)} \leq 2^M - 1. \quad (18)$$

Якщо нерівність (18) виконується, то  $z_{ij}^{(\tau, \gamma)} = z_{ij}^{(\tau)}$  тобто  $z_{ij}^{(\tau)} \in Z'_{\tau, \gamma}$ . Інакше, тобто коли  $z_{ij}^{(\tau)} \notin Z'_{\tau, \gamma}$  починається формування нового диференціального нерівномірного позиційного числа.

Код  $Z_\theta^{(\tau, \gamma)}$  диференціального нерівномірного позиційного числа знаходиться по формулі:

$$Z_\theta^{(\tau, \gamma)} = Z_{\theta-1}^{(\tau, \gamma)} + z_{ij}^{(\tau, \gamma)} V_{ij}^{(\tau, \gamma)}, \quad (19)$$

де  $V_{\theta-1}^{(\tau, \gamma)}$  - значення коду для  $\gamma$ -го диференціального нерівномірного позиційного числа на попередньому кроці обробки (для  $(\theta-1)$ -го елементів).

Перепишемо значення кодів для абсолютного  $E_{\Theta_{1, \gamma}}^{(\tau, \gamma)}$  і диференціального  $E_{\Theta_{1, \gamma}}^{(\tau, \gamma)}$  нерівномірних позиційних чисел. При цьому нерівномірні позиційні числа формуються для однакових елементів масиву  $Z_\tau$ :

$$E_{\Theta_{1,\gamma}}^{(\tau,\gamma)} = \begin{cases} \sum_{i=\xi}^m z_{i\eta}^{(\tau,\gamma)} V_{i\eta}^{(\tau,\gamma)} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=\eta+1}^{n'} z_{ij}^{(\tau,\gamma)} V_{ij}^{(\tau,\gamma)} + \sum_{i=1}^{m''} z_{i,n'+1}^{(\tau,\gamma)} V_{i,n'+1}^{(\tau,\gamma)}, & \rightarrow z_{ij}^{(\tau)} \notin Z'_{\tau,\gamma}; \\ \sum_{i=\xi}^m (z_{i\eta}^{(\tau,\gamma)} - \omega_{i\eta}^{(\tau-1)}) V_{i\eta}^{(\tau,\gamma)} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=\eta+1}^{n'} (z_{ij}^{(\tau,\gamma)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}) V_{ij}^{(\tau,\gamma)} + \\ + \sum_{i=1}^{m''} (z_{i,n'+1}^{(\tau,\gamma)} - \omega_{i,n'+1}^{(\tau-1)}) V_{i,n'+1}^{(\tau,\gamma)}, & \rightarrow z_{ij}^{(\tau)} \in Z'_{\tau,\gamma}. \end{cases} \quad (20)$$

Проведемо аналіз верхньої і нижньої частини виразу для визначення значення коду. З аналізу системи виразів виходить, що виконується нерівність:

$$E'_{\Theta_{1,\gamma}}^{(\tau,\gamma)} < E_{\Theta_{1,\gamma}}^{(\tau,\gamma)}. \quad (21)$$

Доведемо, що в процесі переходу від абсолютного нерівномірного простору до диференціального нерівномірного позиційного простору забезпечується зменшення значення коду. Зменшення кодового значення нерівномірного позиційного числа обумовлене двома причинами, а саме:

$$(z_{ij}^{(\tau,\gamma)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}) < z_{ij}^{(\tau,\gamma)}; \quad (22)$$

$$V'_{ij}^{(\tau,\gamma)} < V_{ij}^{(\tau,\gamma)}. \quad (23)$$

Для побудови блок-схеми методу зниження ефективного синтаксичного представлення масиву аерофотознімка, який несе інформацію про ландшафт, узагальнимо у вигляді системи виразу для визначення основ елементів і вагових коефіцієнтів. В даному випадку не враховуватиметься побудова нерівномірних позиційних чисел різної довжини. Значення основ, які враховуються в процесі побудови кодового представлення нерівномірного позиційного числа визначається на основі наступного виразу :

$$\omega_{ij}^{(\tau)} = \begin{cases} \omega_{ij}^{(\tau)}, & \textcircled{R} \omega_{ij}^{(\tau-1)} > z_{ij}^{(\tau)}; \\ \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \textcircled{R} \omega_{ij}^{(\tau-1)} < z_{ij}^{(\tau)}. \end{cases} \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (24)$$

де  $\omega_{ij}^{(\tau)}$  - (i, j) основа елементу  $z_{ij}^{(\tau)}$  нерівномірного позиційного числа поточного  $\tau$ -го масиву елементів;  $\omega_{ij}^{(\tau-1)}$  - (i, j) основа елементу  $z_{ij}^{(\tau)}$  нерівномірного позиційного числа попереднього  $(\tau-1)$ -го масиву елементів.

Отже, у разі виконання умови верхньої частини системи (24) для поточного нерівномірного позиційного числа необхідно формувати власну систему основ.

Для переходу від абсолютної системи основ до диференціальної системи основ використовується наступна система виразів :

$$\omega_{ij}^{(\tau)} = \begin{cases} \omega_{ij}^{(\tau)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} < z_{ij}^{(\tau)}; \\ \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} > z_{ij}^{(\tau)}, \end{cases} \quad (25)$$

де  $\omega_{ij}^{(\tau)}$  - (i, j) -й різницева основа нерівномірного позиційного числа поточного  $\tau$ -го масиву елементів,  $i=\overline{1, m}$ ,  $j=\overline{1, n}$ .

Тепер розглянемо вирази для визначення вагових коефіцієнтів  $\{V_{ij}^{(\tau)}\}$  елементів  $\tau$ -го нерівномірного позиційного числа масиву. В цьому випадку, з урахуванням умови формування системи різницевої основ  $\{\omega_{ij}^{(\tau)}\}$  вираз для обчислення вагового коефіцієнта має вид:

$$V_{ij}^{(\tau)} = \begin{cases} \prod_{\xi=i+1}^m \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} > z_{ij}^{(\tau)}; \\ \prod_{\xi=i+1}^m (\omega_{ij}^{(\tau)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}), & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} < z_{ij}^{(\tau)}, \end{cases} \quad (26)$$

де  $V_{ij}^{(\tau)}$  - (i, j) -й ваговий коефіцієнт елементу  $\tau$ -го нерівномірного позиційного числа масиву,  $i=\overline{1, m}$ ,  $j=\overline{1, n}$ .

Додаткове зниження інформаційної інтенсивності за рахунок переходу від обробки множини  $\{z_{ij}^{(\tau)}\}$  елементів абсолютного нерівномірного позиційного числа  $Z^{(\tau)}$  до елементів  $\{z_{ij}'^{(\tau)}\}$  диференціального нерівномірного позиційного числа  $Z^{(\tau)}$  реалізується на основі виразу:

$$z_{ij}'^{(\tau)} = \begin{cases} z_{ij}^{(\tau)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} < z_{ij}^{(\tau)}; \\ z_{ij}^{(\tau)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} > z_{ij}^{(\tau)}. \end{cases} \quad (27)$$

Перепишемо в загальному вигляді вираз для коду  $E_\tau$  нерівномірного позиційного числа  $Z^{(\tau)}$  без урахування можливості переповнювання машинного слова :

$$E_\tau = \sum_{i=1}^m z_{ij}'^{(\tau)} V_{ij}^{(\tau)}.$$

Тепер перепишемо формулу з урахуванням системи виразів (25) для визначення вагових коефіцієнтів в абсолютному і різницевому позиційному просторах:

$$E_{\tau} = \begin{cases} \sum_{i=1}^m z'_{ij}(\tau) \prod_{\xi=i+1}^m \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} > z_{ij}(\tau); \\ \sum_{i=1}^m z'_{ij}(\tau) \prod_{\xi=i+1}^m (\omega_{ij}^{(\tau)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}), & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} < z_{ij}(\tau). \end{cases} \quad (28)$$

Враховуючи, що елементи  $\{z'_{ij}(\tau)\}$  можуть належати як абсолютному так і диференціальному нерівномірному позиційному числу, вираз для визначення коду приймає вид:

$$E_{\tau} = \begin{cases} \sum_{i=1}^m z_{ij}(\tau) \prod_{\xi=i+1}^m \omega_{ij}^{(\tau-1)}, & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} > z_{ij}(\tau); \\ \sum_{i=1}^m (z_{ij}(\tau) - \omega_{ij}^{(\tau-1)}) \prod_{\xi=i+1}^m (\omega_{ij}^{(\tau)} - \omega_{ij}^{(\tau-1)}), & \rightarrow \omega_{ij}^{(\tau-1)} < z_{ij}(\tau). \end{cases} \quad (29)$$

Отже, за рахунок переходу від абсолютної системи основ до диференціальної системи основ забезпечується зменшення значення коду на представлення масиву сегменту. Максимальна довжина кодограми зменшується на:

$$\begin{aligned} \log_2 V_{ij}^{(\tau,\gamma)} - \log_2 V'_{ij}^{(\tau,\gamma)} &= \sum_{\phi=1}^{i-1} \log_2 (\omega_{\phi j}^{(\tau)}) + \sum_{\phi=1}^m \sum_{u=1}^{n'} \log_2 (\omega_{\phi u}^{(\tau)}) + \\ &+ \sum_{\phi=m-m'+1}^m \log_2 (\omega_{\phi, j-n'-1}^{(\tau)}) - \sum_{\phi=1}^{i-1} \log_2 (\omega_{\phi j}^{(\tau)} - \omega_{\phi j}^{(\tau-1)}) - \\ &- \sum_{\phi=1}^m \sum_{u=1}^{n'} \log_2 (\omega_{\phi u}^{(\tau)} - \omega_{\phi u}^{(\tau-1)}) - \sum_{\phi=m-m'+1}^m \log_2 (\omega_{\phi, j-n'-1}^{(\tau)} - \omega_{\phi, j-n'-1}^{(\tau-1)}), \quad (\text{біт}) \end{aligned} \quad (30)$$

де  $\log_2 V_{ij}^{(\tau,\gamma)}$ ,  $\log_2 V'_{ij}^{(\tau,\gamma)}$  - максимальна кількість розрядів, що витрачається на представлення коду відповідно в абсолютному і диференціальному просторах.

Для забезпечення на приймальній стороні взаємно-однозначного визначення типу системи основ (абсолютної  $Z_{\tau,\gamma}$  чи диференціальної  $Z'_{\tau,\gamma}$ ) до якої відноситься відновлюваний елемент, вводиться двійкова матриця  $U_{m,n}^{(\tau)}$  розмірністю  $m \times n$  елементів:

$$U_{m,n}^{(\tau)} = \{u_{ij}^{(\tau)}\}, \quad i=\overline{1,m}; \quad j=\overline{1,n}, \quad (31)$$

де  $u_{ij}^{(\tau)}$  -  $(i;j)$ -й елемент матриці  $U_{m,n}^{(\tau)}$  сформованої для  $\tau$ -го масиву сегменту.

Елемент  $u_{ij}^{(\tau)}$  матриці  $U_{m,n}^{(\tau)}$  набуває наступних значень:

$$u_{ij}^{(\tau)} = \begin{cases} 0, & \rightarrow z_{ij}^{(\tau)} \in Z_{\tau,\gamma}; \\ 1, & \rightarrow z_{ij}^{(\tau)} \in Z'_{\tau,\gamma}. \end{cases} \quad (32)$$

При цьому якщо матриця  $U_{m,n}^{(\tau)}$  містить повністю нульовий стовпець:

$$u_{ij}^{(\tau)} = 0, \text{ для } i = \overline{1, m}; \quad (33)$$

чи повністю нульовий рядок:

$$u_{ij}^{(\tau)} = 0, \text{ для } j = \overline{1, n}, \quad (34)$$

то відповідна основа по стовпцю  $\chi_j^{(\tau)}$  і по рядку  $w_i^{(\tau)}$  дорівнюватиме нульовому значенню:

$$\chi_j^{(\tau)} = 0; \quad w_i^{(\tau)} = 0. \quad (35)$$

Це означає, що основи для відповідних елементів масиву сегменту повністю замінюються основами попереднього  $(\tau-1)$ -го масиву. На приймальну сторону передаються основи, значення яких відмінні від 0. Тоді досягається зменшення кількості основ необхідних для безпомилкового відновлення елементів сегментів на приймальній стороні.

Подальше зменшення кількості основ другого рівня досягається за рахунок того, що для елементів  $z_{ij}^{(\tau)}$ , що мають значення ознаки  $u_{ij}^{(\tau)} = 1$  будується окремий масив  $Z_{\tau}^{(2)}$ :

$$Z_{\tau}^{(2)} = \{z_{\xi u}^{(\tau,2)}\}, \quad i = \overline{1, v_g}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (36)$$

де  $z_{\xi u}^{(\tau,2)}$  -  $(\xi; u)$ -й елемент матриці  $Z_{\tau}^{(2)}$ .

Масив  $Z_{\tau}^{(2)}$  утворюється шляхом викреслювання елементів  $z_{ij}^{(\tau)}$  для яких відповідає значення ознаки  $u_{ij}^{(\tau)} = 0$ :

$$z_{\xi u}^{(\tau,2)} = z_{ij}^{(\tau)} \Big| u_{ij}^{(\tau)} = 1. \quad (37)$$

Заповнення масиву  $Z_{\tau}^{(2)}$  відбувається по рядках зліва направо. Так на  $(\xi; u)$ -му кроці заповнення масиву  $Z_{\tau}^{(2)}$  використовується наступне правило:

$$z_{ij}^{(\tau)} = \begin{cases} z_{\xi, u+1}^{(\tau,2)} & \rightarrow u = n, \\ z_{\xi+1, u}^{(\tau,2)} & \rightarrow u < n, \end{cases} \quad (38)$$

тому розмір масиву  $Z_{\tau}^{(2)}$  не перевищуватиме розміру початкового масиву  $Z_{\tau}$ . З урахуванням цих особливостей обчислення величин  $\chi_j^{(\tau)}$  і  $w_i^{(\tau)}$  виконується тільки для елементів масиву  $Z_{\tau}^{(2)}$ , тобто:

$$w_i^{(\tau)} = \max_{1 \leq j \leq n} \{z_{ij}^{(\tau)}\} + 1, \quad i = \overline{1, v_g}; \quad (39)$$

$$\chi_j^{(\tau)} = \max_{1 \leq i \leq v_g} \{z_{ij}^{(\tau)}\} + 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (40)$$

Тобто на визначення величин  $\chi_j^{(\tau)}$  і  $w_i^{(\tau)}$  потрібно буде витратити меншу кількість операцій порівняння, чим для масиву  $Z_\tau$ .

Використання матриці  $U_{m,n}^{(\tau)}$  дозволяє враховувати ситуацію, коли значення основ поточного масиву набагато менше, ніж значення основ попереднього масиву. Для такого варіанту одночасно виконуються дві умови:

$$\begin{aligned} z_{ij}^{(\tau)} &< \omega_{ij}^{(\tau-1)}; \\ \log_2 \omega_{ij}^{(\tau-1)} &> 2 \log_2 (\min(w_i^{(\tau)}, \chi_j^{(\tau)})). \end{aligned} \quad (41)$$

Умова (41) вказує на те, що введення основи для елемента  $z_{ij}^{(\tau)}$  приведе до зниження сумарної довжини кодограми (враховується інформаційна і службова частини кодової комбінації).

Для обліку такої ситуації в матриці  $U_{m,n}^{(\tau)}$  вводиться елемент  $u_{ij}^{(\tau)}$ , який має значення, що дорівнює 2. Така додаткова службова інформація забезпечить взаємно-однозначне визначення типу обробки кожного елемента масиву сегменту, який містить інформацію про ландшафт.

## Висновки

Побудований метод ефективного синтаксичного представлення сегментів аерофотознімка, які несуть інформацію про ландшафт місцевості з ідентифікацією ступеню інформативності семантичного змісту. Даний метод забезпечує додаткове підвищення ступеню усунення інформаційної інтенсивності сегментів аерофотознімка без внесення в них помилок, та враховує обмеження на обчислювальну складність алгоритму його реалізації. Відмітною особливістю розробленого методу є те, що значення вектору службової інформації поточного масиву сегменту формується з урахуванням основ попереднього масиву.

Практична значимість полягає в тому, що по каналах зв'язку передаються тільки ті системи основ поточного масиву зображення, які відрізняються від основ попереднього масиву цього зображення. Следствием чого є підвищення оперативності доведення аерофотознімка без зниження його якості.

## Література

1. А. Алімпієв, В. Бараннік, С. Сідченко, «Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні», Системи обробки інформації, Вип. 4(150), С. 113-121, 2017.
2. Землянченко, С. Абрамов, В. Лукин, «Прогнозирование параметров сжатия с потерями изображений с шумом», Радиоэлектроника и информатика, №1(76), С. 14–21, 2017.
3. О. Кулица, М. Думанский, «Обоснование требований относительно целостности видеоинформации воздушного мониторинга чрезвычайных ситуаций», Сучасна спеціальна техніка, №4, С. 88–91, 2012.
4. В. Худов, Г. Худов, «Метод сегментування багато масштабної послідовності зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження», Радиоэлектроника и информатика, №2(77), С. 51–54, 2017
5. V. Barannik, S Podlesny, A. Krasnorutskiy, A Musienko, «The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action» , IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs), Yerevan, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTs.2016.7807752.
6. V. Barannik, Yu. Ryabukha, S. Podlesnyi, «Structural slotting with uniform redistribution for enhancing trustworthiness of information streams», Telecommunications and Radio Engineering, No 76(7), pp. 607, doi: /10.1615/TelecomRadEng.v76.i7.40.
7. V. Barannik, S. Podlesnyi, K. Yalivets, A. Bekirov, «The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword», 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, pp. 52-54, 2016, doi: 10.1109/TCSET.2016.7451965.
8. V. Barannik, A. Krasnorutskiy, Y. Ryabukha, D. Okladnoy, «Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation», Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, pp. 736, 2016, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452167.
9. V. Barannik, Y. Ryabukha, O. Kulitsa, «The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems», Telecommunications and Radio Engineering, No 76(9), pp. 785-797, 2017, doi: /10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40.
10. С. Подлесный, «Технология обеспечения целостности двоичного информационного ресурса на основе структурно-энтропийного слотирования», Радиоэлектроника и информатика, №3, С. 13-20, 2016.
11. А. Мусиенко, «Технология декодирования блоков аэрофотоснимка на основе восстановления компонент трансформант», Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте, №5, С. 58–62, 2016.