

УДК 621.39

ТЕХНОЛОГІЯ КОДУВАННЯ БЛОКІВ АЕРОФОТОЗНІМКУ З УРАХУВАННЯМ СЕМАНТИЧНО ВАЖЛИВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ БОРТОВИХ КОМПЛЕКСІВ ПОВІТРЯНОГО МОНІТОРИНГУ

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф.; **О. П. Мусієнко**; **А. А. Леках**, канд. техн. наук

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

barannik_v_v@mail.ru

Розглянуто питання, пов'язані з бортовою обробкою цифрових аерофотознімків, отримані в процесі повітряного моніторингу. Цифрові аерофотознімки характеризуються різною семантичною насиченістю. Тому особливу увагу під час оброблення аерофотознімків необхідно приділити вибору семантичної насиченості, тобто найбільш значущої інформації про контури та границі об'єктів місцевості. Такий підхід дасть змогу у подальшому зменшити час оброблення на етапі кодування, але при цьому можуть виникнути питання, пов'язані з втратою значущої інформації. Тому пропонується для забезпечення зменшення обсягу переданих даних урахувати ступінь допустимих втрат якості інформації про ключові ознаки дешифрування. Показано схему технології кодування блоків аерофотознімків з урахуванням семантично важливої інформації. Обґрунтовано основні етапи технології кодування блоків аерофотознімку на борту безпілотної літальної апаратури.

Ключові слова: цифровий аерофотознімок, технологія, кодування, значимі компоненти, послідовність, вектор, блок.

In article the questions connected with onboard processing of digital aerial images obtained during air monitoring. Digital aerial images are characterized by different semantic richness. Therefore, special attention in the processing of the aerial photographs should be given the choice of semantic saturation, in is the most significant information about the contours and object boundaries areas. This approach will further reduce the processing time during the coding stage, but may raise issues associated with the loss of significant information. It is therefore proposed to reduce the amount of transmitted data to consider the degree of acceptable loss of quality of information on key features of interpretation. Shows a diagram of the technology coding of blocks of aerial photographs to highlight semantically important information. It justifies the main stages of coding technology blocks the aerial view on board of the unmanned aircraft.

Keywords: digital aerial, technology, coding, significant components, the sequence, vector block.

Вступ

Сьогодні значно зріс інтерес до засобів збирання корисної інформації в системі моніторингу з використанням безпілотної літальної апаратури (БПЛА) [1]. Як корисну інформацію розуміють отримані за допомогою сучасних цифрових фотоапаратів аерофотознімки (цифрові аерофотознімки), що вирізняються високим ступенем семантичної насиченості і мають значні обсяги (близько 100 Мбіт). Однак необхідно також урахувати той факт, що під час передачі цифрових аерофотознімків по каналах передачі даних, одночасно в одному відеопотоці можуть міститися блоки з різним ступенем насиченості (детальність текстури). До того ж зростання інформаційної інтенсивності аерофотознімків і низька пропускна здатність каналів передачі даних веде до зростання не тільки тимчасових затримок з доставки інформації, але і втрати значимої інформації про об'єкти по всьому аерофотознімку (порушення деталізації текстури і контурів). Все це веде до зниження ефективності дешифрування цифрових аерофотознімків після обробки.

Тому необхідність забезпечення зниження обсягу переданих даних з урахуванням забезпечен-

ня потрібної якості інформації про ключові ознаки дешифрування, є актуальним завданням.

Однак необхідно враховувати, що зниження обсягу переданих даних, з урахуванням забезпечення потрібної якості інформації про ключові ознаки дешифрування, буде значною мірою залежати від ступеня насиченості блоків аерофотознімку дрібними деталями. Отже, виникає необхідність в обробці блоків аерофотознімку на борту БПЛА, урахувуючи ступінь насиченості кожного блоку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існуючі методи з оброблення та кодування цифрових аерофотознімків (JPEG, JPEG2000) показали, що найбільш важливою є інформація про контури, границі об'єктів [2–4]. При цьому не враховується семантична складова оброблюваних блоків аерофотознімку. З одного боку це дозволяє зменшити час обробки на етапі кодування, але при цьому можуть виникнути питання, пов'язані з утратою значущої інформації.

Отже, існуючі технології обробки блоків аерофотознімку на базі JPEG-платформи не забезпечують зменшення обсягу переданих даних за заданої якості дешифрування. Тому, необхідно

створити такий спосіб кодування блоків, який дозволить досягти зменшення обсягу переданих даних у реальному масштабі часу, на основі отриманих класів семантичної насиченості блоків аерофотознімки, і внесенням в них допустимих втрат якості збереженої інформації про ключові ознаки дешифрування.

Розробку такої технології необхідно формувати з урахуванням усунення проблемних недоліків щодо кодування компонентного подання трансформант. На основі цього пропонується розробити технологію обробки трансформант з урахуванням класів семантичної насиченості блоків, а також внесенням до них допустимих втрат якості, яка зможе забезпечити зниження інтенсивності переданих даних, що призведе до підвищення ефективності дешифрування блоків аерофотознімки. Тому, **метою** статті є розробка технології кодування блоків аерофотознімки з урахуванням семантично важливої інформації для бортових комплексів повітряного моніторингу.

Основна частина

У системах обробки інформації питанням, пов'язаним з обробкою цифрових аерофотознімків з керованою втратою інформації, а також якості її відновлення приділяється особлива увага [5]. Способи реалізації таких технологій застосовують у форматах JPEG, JPEG 2000, де одним з етапів обробки блоків аерофотознімки різних класів полягає в кодуванні трансформант зображень. Така технологія дасть змогу в подальшому компактно представити блоки аерофотознімків, а також підготувати дані для виконання двійкового представлення.

На рисунку наведено технологію кодування блоків аерофотознімків, яка представлена такими етапами:

1. Перший етап. Переводимо вихідний цифровий аерофотознімок із кольорного простору RGB в кольороворізнисний простір YUV (YCrCb), що подано такими виразами:

$$\begin{cases} Y = \lfloor (R_{ij} + 2G_{ij} + B_{ij}) / 4 \rfloor; \\ U = R_{ij} - G_{ij}; \\ V = B_{ij} - G_{ij}, \end{cases} \quad (1)$$

де $Y = \{y_{ij}\}$, $U = \{u_{ij}\}$, $V = \{v_{ij}\}$.

2. Другий етап пов'язаний з переводом із просторово-часового подання блоків у частотно-спектральне. Технологія кодування блоків аерофотознімки на цьому етапі полягає в сегментації вихідного цифрового аерофотознімку на блоки розмірністю 8×8 . Далі виконується дискретне косинусне перетворення. Тут кожен блок $b(p_{k,\ell})$ аерофотознімку піддається ортогональним пере-

творенням (dcp) для виділення семантично важливої інформації, яка необхідна для подальшого ефективного дешифрування.

Результатом таких перетворень є отримання трансформанти з компонентами, звідки видно, що основна інформація в блоці концентрується в лівому верхньому кутку. Тут найбільш значущі компоненти, відповідають самій низькій частоті і маркуються за специфікаціями як DC-компонента. Всі інші компоненти — це високочастотні компоненти, які маркуються як AC-компоненти. У них міститься незначна інформація про зображення. Далі на основі розподілених частотних компонент в трансформанті C , визначається ступінь насиченості кожного типу блоку аерофотознімки, тобто проводиться оцінка семантичного навантаження блоку аерофотознімки. У нашому випадку, пропонується використовувати два показники, які будуть характеризувати досліджувані блоки:

– показник насиченості блоку $P_{\text{дкп}}$:

$$P_{\text{дкп}} = \left[\log_2 \left(\prod_{\gamma=1}^{D_d} \prod_{\xi=1}^{N_\gamma} (y_{\gamma,\xi}) \right) \right], \quad (2)$$

де $y_{\gamma,\xi}$ — компонента трансформанти C на позиції з координатами (γ, ξ) , щодо діагоналі D ; D_d — кількість діагоналей в ознаковій зоні компонент; N_γ — кількість компонент, які відповідають діагоналям в ознаковій зоні.

– структурний показник блоку $\sigma_{\text{бл}}$:

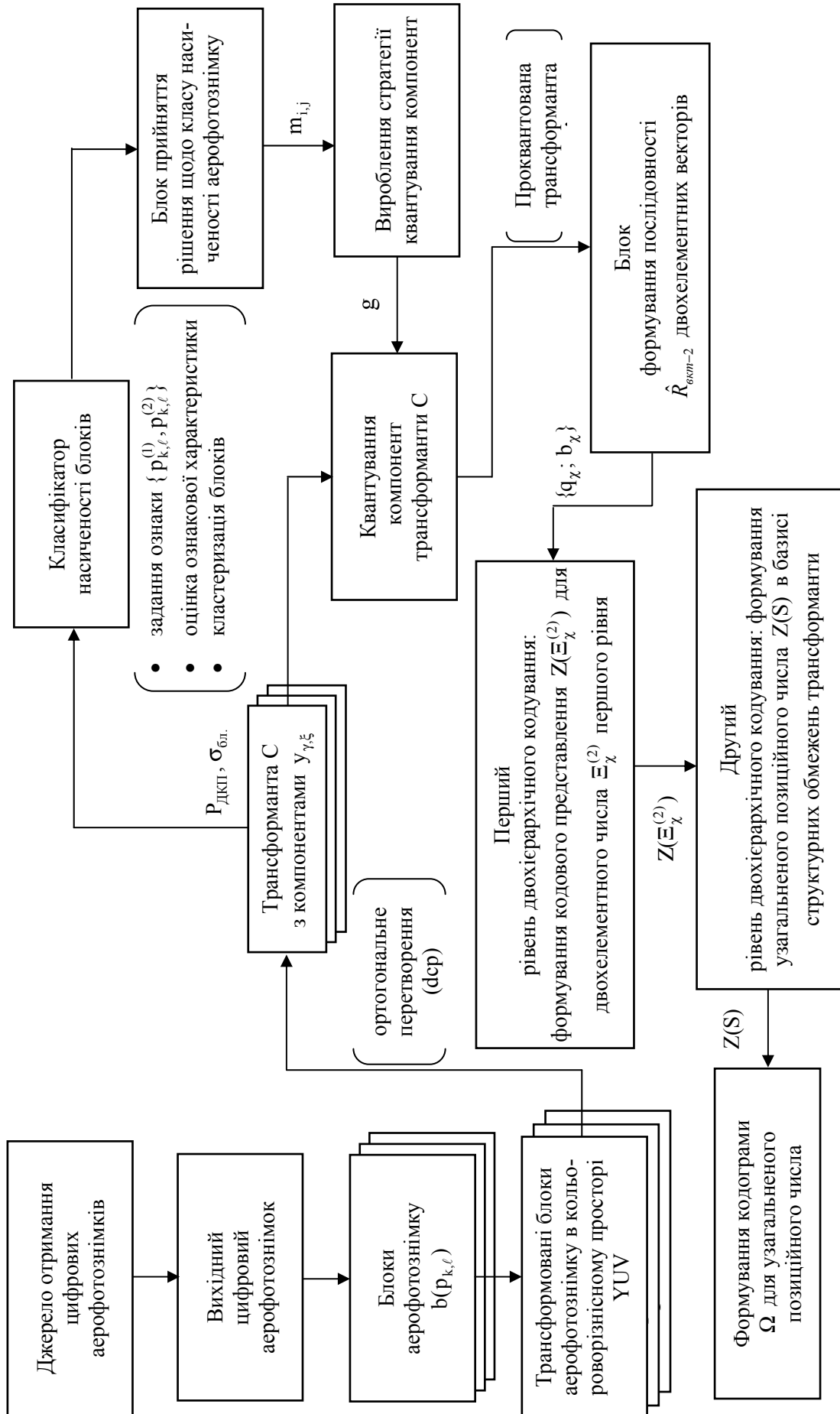
Використання двох показників дозволить визначити клас насиченості блоків аерофотознімки різних типів (контурні, текстуровані, однорідні) [6].

Експериментальним шляхом у праці [7] було встановлено, що чим більше значущий блок аерофотознімки, тим більше ваговий коефіцієнт буде мати показник насиченості $P_{\text{дкп}}$ і структурний показник $\sigma_{\text{бл}}$. Тому необхідно застосувати технологію, яка дозволяє класифікувати блоки аерофотознімки за класами, а саме: сильна насичені, середньонасичені і слабонасичені, що представлено третім етапом.

3. На третьому етапі виконується технологія класифікації блоків аерофотознімки за ступенем семантичної насиченості, що представлено такими кроками:

1) вибір ознакових характеристик блоків: показник насиченості $p_{k,\ell}^{(1)}$ і структурний показник $p_{k,\ell}^{(2)}$;

2) оцінка ознакових характеристик блоку, на підставі якої визначається ступінь належності блоків один одному в єдиному ознаковому просторі;



Технологія кодування блоків аерофотограмми з врахуванням семантично важливої інформації для бортових комплексів повітряного моніторингу

3) кластеризація блоків аерофотознімку, результатом якої є розподілені блоки $m_{i,j}$ по класерах M_j , на основі ознакових характеристик, що в свою чергу призводить до формування трьох класів насиченості блоків (сильно-, середньо- і слабонасичені). Це дозволить в блоці прийняття рішень зробити вибір щодо класу насиченості досліджуваних блоків, з урахуванням вибору j -го типу блоку $m_{i,j}$. При цьому параметр g якості збереженої інформації про ключові ознаки дешифрування буде вибиратися відповідно з класом семантичної насиченості.

У цьому випадку, залежність параметра якості g передачі ключових ознак від ступеня насиченості представлено виразом:

$$g = f(m_{i,j}, j),$$

де $m_{i,j}$ — i -й блок, який належить j -му кластеру відповідно до класу семантичної насиченості.

Далі на підставі отриманих класів насиченості блоків відбувається вибір стратегії квантування компонент трансформанти.

4. Четвертий етап полягає у виробленні стратегії квантування компонент трансформанти. Отже, кожна з компонент $u_{\gamma,\xi}$ трансформанти S піддається корекції, відповідно з коефіцієнтами квантування. Тут забезпечується баланс, з одного боку, між збільшенням довжини нульових q_χ ланцюжків компонент трансформанти та зростанням ступеня зменшення обсягу переданих даних, з іншого боку — підвищення ефективності дешифрування аерофотознімків за рахунок збереження ключових і значущих ознак дешифрування (контура, текстури і однорідності ландшафтних областей). Завдяки цьому відбувається підвищення оперативності доставки інформації при заданій якості дешифрування. Підсумковим результатом четвертого етапу є отримання проквантованих компонент трансформанти S' , згідно з насиченістю ключових ознак.

5. Сутність п'ятого етапу полягає в отриманні структурованого подання трансформанти з подальшим виділенням послідовності $\hat{R}_{\text{вкр}}$ двохелементних векторів.

На першому кроці проводиться структуризація трансформанти, шляхом формування одновимірного вектора, тобто відбувається виділення довжин q_χ ланцюжків, що складаються з компонент трансформанти, які мають після квантування нульові значення. Далі відбувається формування вектора, що складається з двох компонент: q_χ — довжини ланцюжка нульових компонент;

b_χ — значення компоненти відмінного від нульового значення. Таким чином, ми отримуємо двохелементний вектор $\{q_\chi; b_\chi\}$ (ДВ) структурних характеристик трансформанти. Наступним кроком здійснюється побудова векторів у послідовність двохелементних векторів. При цьому, обробці підлягає не вся послідовність двохелементних $\hat{R}_{\text{вкр}}$ векторів $\{q_\chi; b_\chi\}$, а тільки та його частина $\hat{R}_{\text{вкр}-2}$, яка не містить перший і останній вектор, що представлено виразом:

$$\hat{R}_{\text{вкр}-2} = \{(q_2; b_2), \dots, (q_\chi; b_\chi), \dots, (q_{\text{вкр}-1}; b_{\text{вкр}-1})\}.$$

де $v_{\text{вкр}}$ — довжина послідовності значущих двохелементних векторів.

Наступним кроком відбувається формування кодового представлення для окремих двохелементних векторів $\Xi_\chi^{(2)}$, що представлено першим рівнем двухієрархічного кодування. Тут для кожного вектора, як двохелементного числа $\Xi_\chi^{(2)}$ першого рівня, формується кодове значення $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ відповідно з формулою:

$$Z(\Xi_\chi^{(2)}) = (q_\chi \beta(b) + b_\chi), \quad (3)$$

де $\beta(b)$ — обмеження оброблюваної послідовності значущих ДВ.

Другий рівень полягає у формуванні ланцюжка S , складеного із значень кодів $Z(\Xi_\chi^{(2)})$, який є узагальненим позиційним числом в базисі структурних обмежень трансформанти, що представлено виразом:

$$S = \{Z(\Xi_2^{(2)}); \dots; Z(\Xi_\chi^{(2)}); \dots; Z(\Xi_{\text{вкр}-1}^{(2)})\},$$

де $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ — значення коду для двохелементного числа першого рівня.

Виходячи з цього, відбувається формування узагальненого кодового представлення $Z(S)$ з урахуванням отриманих кодових значень $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ на першому рівні, що представлено виразом:

$$Z(S) = \sum_{\chi=2}^{\text{вкр}-1} Z(\Xi_\chi^{(2)}) N(S^{(\chi)}). \quad (4)$$

Величина $N(S^{(\chi)})$ виступає як ваговий коефіцієнт χ -го елемента узагальненого позиційного числа в базисі структурних обмежень трансформанти.

Таким чином, отримане узагальнене кодове подання $Z(S)$ дозволить надалі отримати кодограми Ω для узагальненого позиційного числа.

6. Завершальним етапом технології кодування блоків аерофотознімків є формування кодограми

Ω (двійкове подання), що містить інформацію про кодове подання послідовності $\hat{R}_{\text{вект-2}}$ двохелементних векторів структурних характеристик трансформанти.

Отримане співвідношення дозволяє обчислити код $Z(S)$ для узагальненого позиційного числа в базисі структурних обмежень трансформанти. Водночас, число S формується як дворівневе позиційне опис послідовності значущих двохелементних векторів. Тому значення коду для двохелементного позиційного числа в базисі структурних обмежень трансформанти є кодовим поданням послідовності $Z(\hat{R}_{\text{вект-2}})$.

Таким чином, кодування послідовності значущих двохелементних векторів здійснюється за двохієрархічною схемою. На першому рівні формується кодове подання для окремих двохелементних векторів $\Xi_{\chi}^{(2)}$. Відповідно на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання отриманих на першому рівні кодів.

Висновки

1. Розроблена технологія кодування блоків аерофотознімку з урахуванням семантично важливої інформації для бортових комплексів повітряного моніторингу. Заснована на формуванні послідовності значущих двохелементних векторів для структуризованих трансформант.

Відмінність полягає в такому:

- кодування відбувається в режимі встановлення значень параметра якості збереження інформації про ключові ознаки дешифрування;
- виключення використання додаткових службових даних;
- виключення необхідності значного збільшення кількості операцій, що витрачаються на виконання умов інтеграції кодового представлення послідовності значущих двохелементних векторів у систему зниження обсягу переданих даних;

– визначення ступеня насиченості кожного типу блоку аерофотознімку (оцінка семантичного навантаження блоку);

– отримання структурованого подання трансформанти з подальшим виділенням послідовності значущих двохелементних векторів, а також формуванням для неї кодограми.

2. Викладено інтерпретування послідовності значущих двохелементних векторів як узагальненого позиційного числа невизначеної довжини. При цьому елементами узагальненого позиційного числа є коди двохелементних чисел першого рівня, утворені для окремих двохелементних векторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мосов С. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: монография / С. Мосов. — К. : Изд. дом. Румб, 2008. — 248 с.
2. Гонсалес Р. С. Цифровая обработка изображений / Р. С. Гонсалес, Р. Э. Вудс. — М. : Техносфера, 2006. — 1072 с.
3. Кашкин В. Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений : конспект лекций / В. Б. Кашкин. — Красноярск: ИПК СФУ, 2008. — 121 с.
4. Бараннік В. В. Аналіз методів виявлення меж об'єктів на зображеннях і їх класифікація / В. В. Бараннік, А. В. Власов, А. В. Яковенко // Сучасна спеціальна техніка. — 2012. — Вип. 3 (30). — С. 17–27.
5. Бараннік В. В. Кодування трансформованих зображень в інфокомунікаційних системах / В. В. Бараннік, В. П. Поляков. — Х. : ХУПС, 2010. — 212 с.
6. Бараннік В. В. Метод кластеризації фрагментів аерофотознімків у спектрально-частотному просторі // В. В. Бараннік, О. П. Мусієнко, К. С. Ялівець // Наукоємні технології. — 2016. — Т. 9, № 1. — С. 23–30.
7. Бараннік В. В. Метод кластеризації блоків аерофотознімку в двохознаковому структурному просторі в системі обробки інформації / В. В. Бараннік, О. П. Мусієнко // АСУ и приборы автоматики. — № 173. — 2016. — С. 57–67.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2016