

**МЕТОДИ СЕЛЕКЦІЇ ІНФОРМАТИВНИХ ЗОНАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

\*Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Київ, Україна

---

**Анотація.** У статті розглянуто методи відбору найбільш інформативних спектральних каналів. Розглянуто критерій Фішера, його модифікації та критеріальну функцію інформативності спектральних каналів. Також запропоновано метод відбору спектральних каналів, заснований на використанні нової модифікованої критеріальної функції інформативності каналів. Наведено кілька прикладів, де використовуються критеріальні функції інформативності. Показано, що запропонована модифікована критеріальна функція інформативності спектральних каналів має певні переваги перед відомими методами.

**Ключові слова:** багатоспектральні дані, класифікація зображень, критерій Фішера, критеріальна функція інформативності.

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы отбора наиболее информативных спектральных каналов. Рассмотрены критерий Фишера, его модификации и критериальная функция информативности спектральных каналов. Также предложен метод отбора спектральных каналов, основанный на использовании новой модифицированной критериальной функции информативности каналов. Приведено несколько примеров, где используются критериальные функции информативности. Показано, что предложенная модифицированная критериальная функция информативности спектральных каналов имеет определенные преимущества по сравнению с известными методами.

**Ключевые слова:** многоспектральные данные, классификация изображений, критерий Фишера, критериальная функция информативности.

**Abstract.** In this article we considered and analyzed different methods for selection of the most informative and most useful spectral bands. It was considered Fisher criterion, its modifications and criterion function of information capability of spectral bands. It was proposed a new method to select spectral bands as well. This method is based on the concept of new modified criterion function of information capability of spectral bands. In this work we considered some examples using these criterion functions. It was shown, that the proposed new modified criterion function of information capability of spectral bands has advantages and gives more accurate results than other methods.

**Keywords:** multispectral data, image classification, Fisher criterion, criterion function of information capability.

## 1. Вступ

Як відомо, сучасні гіперспектральні системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) нараховують по кілька сотень спектральних каналів. Кожне гіперспектральне супутникове зображення складається з великої кількості зональних зображень, що, у свою чергу, є досить складним для обробки. Також слід зазначити, що часто більшість із цих зональних зображень є зашумленими та малоінформативними. При цьому звичайно найбільша частина основної інформації, яка є необхідною для прийняття рішень при класифікації, зазвичай зосереджена тільки у декількох зональних зображеннях. Тому актуальним є проведення процедури відбору найбільш інформативних спектральних каналів. Дана процедура полегшує та прискорює розв'язання задачі, робить розв'язок задачі більш стійким.

У статті розглянуті різні критерії для оцінки класифікаційної цінності спектральних зображень, такі як критерій Фішера, його модифікації та критеріальна функція інформативності. Також у даній роботі буде наведена нова критеріальна функція інформативності, яка враховує об'єм об'єктів кожного класу  $i$ , відповідно, дає більш точну оцінку інформа-

тивності спектральних каналів. У статті буде наведено декілька прикладів, за допомогою яких будуть продемонстровані переваги нової запропонованої функції інформативності.

## 2. Критерій Фішера та його основні модифікації

За останнє десятиліття було створено багато різноманітних методів класифікації та обробки гіперспектральних зображень. Сама процедура класифікації є досить складною задачею, оскільки зазвичай ми маємо справу з великим числом спектральних каналів, тобто маємо простір характеристик з великою розмірністю, що, у свою чергу, дуже ускладнює подальшу обробку зображень.

Відомо багато різноманітних методів, які зменшують розмірність простору характеристик, тобто відбувається проектування первинного гіперпростору характеристик з великою розмірністю на простір з меншою розмірністю з одночасним збільшенням відстані між класами.

Лінійний дискримінантний аналіз (Linear Discriminant Analysis, LDA) – це одна з найбільш ефективних методик, що оптимізує використання критерію Фішера. Дана методика використовується для розпізнавання та класифікації різних видів дерев хвойних та тропічних лісів, для ідентифікації одиниць земляного покриття, при розв’язанні екологічних задач тощо [1–3].

Розглянемо множину з  $n$  ділянок,  $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$ , де  $x_i \in R^m$  являє собою вектор характеристик розмірності  $m$  для кожного  $i$ -го пікселя із позначенням  $y_i \in \Omega$ , де  $m$  – кількість спектральних каналів,  $\Omega$  – простір класів, присутніх на зображенні.

Метод класифікації LDA шукає таке лінійне перетворення (матрицю  $G$ ), яке понижує розмірність вектора характеристик  $x$ , оскільки цей метод не може працювати, коли розмірність простору характеристик набагато більша за кількість навчальних ділянок. Тобто ми перетворюємо вектор характеристик  $x$  розмірності  $m$  на вектор характеристик розмірності  $l$ ,  $a = G^T x \in R^l$ , де  $l < m$ . Ми понижуємо розмірність простору характеристик для того, щоб максимізувати відстань між класами.

Критерій Фішера полягає у максимізації відстані між середніми значеннями класів та мінімізації внутрішньокласових дисперсій за допомогою такого функціонала:

$$J(w) = (\mu_2 - \mu_1)^2 / (\delta_2^2 + \delta_1^2). \quad (1)$$

Звідси функція розв’язку буде мати вигляд  $y = w^T x$ . Максимізація функціонала Фішера еквівалентна максимізації коефіцієнта Рейлейга, де  $w$  – ваговий вектор:

$$w^* = \arg \max_w \{J(w)\} = \arg \max_w \left\{ \frac{w^T S_b w}{w^T S_w w} \right\}, \quad (2)$$

де 
$$S_b = \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{k=1}^K n_k (\mu_k - \mu)(\mu_k - \mu)^T - \text{міжкласова дисперсія}; \quad (3)$$

$$S_w = \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{k=1}^K \sum_{i \in I_k} (x_i - \mu_k)(x_i - \mu_k)^T - \text{внутрішньокласова дисперсія}, \quad (4)$$

де  $\mu_k$  – вектор середніх значень для  $k$ -го класу;

$\mu$  – вектор середніх значень даних;

$I_k$  – множина індексів для позначення  $k$ -го класу;

$x \in R^m$  – вектор, отриманий на основі  $m$  спектральних каналів ( $m$  характеристик);

$n$  – число навчальних ділянок;

$n_k$  – число навчальних ділянок для  $k$ -го класу;

$S_b \in R^{m \times m}$  – міжкласова точкова матриця;

$S_w \in R^{m \times m}$  – внутрішньокласова точкова матриця;

$S \in R^{m \times m}$  – загальна точкова матриця.

Слід зауважити, що критерій максимізації (2) може бути записаний за допомогою такої задачі максимізації:

$$G^* = \arg \max_G \{ \text{trace}((G^T S_w G)^{-1} G^T S_b G) \}, \quad (5)$$

що у свою чергу еквівалентно:

$$G^* = \arg \max_G \{ \text{trace}((G^T S G)^{-1} G^T S_b G) \}, \quad (6)$$

де  $S = S_b + S_w$  – загальна точкова матриця, що є оцінкою коваріаційної матриці.

Слід зауважити, що розв'язання всіх вищеописаних задач можливе лише при умові, що матриці  $S_w$  та  $S$  – невироджені.

Якщо ж виникає така ситуація, коли  $S_w$  та  $S$  – вироджені при наявності малої кількості навчальних ділянок та великої розмірності простору характеристик, то у даному випадку слід використовувати модифікований (регульований) лінійний дискримінантний аналіз і, зокрема, критерій Фішера.

Дві основні форми модифікованого LDA:

1) Penalized LDA (PLDA)-модифікований LDA;

2) Regularized LDA (RLDA)-регульований LDA.

Метод PLDA полягає у тому, що до внутрішньокласової матриці  $S_w$  додається доданок  $\lambda \theta$ .

Маємо  $S'_w = S_w + \lambda \theta$ ,

де  $\theta$  – матриця розмірності  $m \times m$ , така що матриця  $w^T \theta w$  є досить великою через велике значення норми  $\|w\|$ , завдяки чому наявність “невірних” розв'язків особливої ролі в задачі не грає.

Слід зауважити, що класичний метод LDA є частковим випадком методу PLDA, коли  $\lambda = 0$ .

Метод RLDA полягає у тому, що до виродженої матриці  $S$  додається доданок  $\lambda I$ , де  $\lambda > 0$  – значення діагональних елементів матриці,  $I \in R^{m \times m}$  – одинична матриця. Отримана регульована матриця є додатньо визначеною та невиродженою.

Тепер підставляємо дану матрицю  $S + \lambda I$  у вираз (6), маємо

$$G^* = \arg \max_G \{ \text{trace}((G^T (S + \lambda I) G)^{-1} G^T S_b G) \}, \quad (7)$$

де  $G$  – матриця перетворення,  $G^T$  – транспонована матриця перетворення.

Зазначимо, що класичний метод LDA – це граничний випадок методу RLDA, коли  $\lambda = 0$ .

### 3. Методика відбору спектральних каналів, що заснована на застосуванні критеріальної функції інформативності

При оцінці інформативності спектральних каналів будемо вважати, що нам відома навчальна вибірка для кожного з  $K_m$  класів,  $m=1,2,\dots,M$ . Кожна кількісна ознака  $\pi_n$  ( $n=1,2,\dots,N$ ) у відповідному спектральному каналі має певний діапазон значень, позначимо його  $d_{\pi_n}$ . У межах загальної навчальної вибірки  $I$  діапазон значень  $n$ -ї ознаки розраховується як

$$d_{\pi_n} = \max_I \pi_n - \min_I \pi_n, \quad (8)$$

де  $\max_I \pi_n$  та  $\min_I \pi_n$  – відповідно найбільше та найменше значення цієї ознаки.

Для дослідження кореляції значень ознаки  $\pi_n$  з класами  $K_1, K_2, \dots, K_M$  розподілимо діапазон значень ознаки на однакові за шириною інтервали. Ширина інтервалу визначається як

$$\Delta d_{\pi_n} = \frac{d_{\pi_n}}{|I|}, \quad (9)$$

де  $|I|$  – потужність загальної навчальної вибірки у теоретико-множинному розумінні.

Клас  $K_M$  будемо називати зіставленим певному інтервалу ознаки  $\pi_n$ , яка розглядається, якщо в навчальній вибірці  $I_m$  позитивних прикладів по класу  $K_M$  матимемо приклад об'єкта, значення ознаки якого потрапляє до цього інтервалу. Якщо кількісна ознака для об'єктів різних класів у кожній з  $N$  спектральних зон розподілена на відповідні інтервали, то, використовуючи загальну навчальну вибірку, для будь-якої спектральної зони можна визначити, в який інтервал потрапили конкретні представники різних класів з цієї вибірки, а потім підрахувати кількість попадань класів у відповідні інтервали. Зрозуміло, розподіл попадань класів по інтервалах буде відрізнятися для різних спектральних каналів, а це означає, що різні спектральні канали неоднаково ефективні при класифікації об'єктів. Ефективність класифікації об'єктів може бути платформою для визначення й порівняння інформативних властивостей різних спектральних каналів [4–7].

Впровадимо функцію  $F$ , яку будемо далі називати критеріальною функцією інформативності спектрального каналу:

$$F = 1 - \frac{1}{M(M-1)} \cdot \sum_{m=1}^M \frac{\sum_{j=1}^{nz} \left( l_{mj} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^M l_{kj} \right)}{\sum_{j=1}^{nz} l_{mj}}, \quad (10)$$

де  $M$  – кількість класів,  $nz$  – число інтервалів для ознаки спектрального каналу, що розглядається,  $l_{mj}$  – індикатор зіставлення,

$$l_{mj} = \begin{cases} 1, & \text{якщо клас } K_m \text{ зіставлений з інтервалом } j, \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Можна показати, що функція інформативності (10) має значення в діапазоні від 0 до 1, а її конкретна величина залежить від того, як зіставлені між собою класи та ознаки. Се-

ред спектральних каналів той буде мати найбільше значення функції  $F$ , для ознаки якого число класів, одночасно зіставлених кожному інтервалу, мінімальне. Будемо далі користуватися гіпотезою, що саме той спектральний канал і є найбільш інформативним. Тоді формула (10) надає можливість кількісно порівнювати інформативності спектральних каналів та відібрати серед них найбільш ефективні для класифікації об'єктів [8–12].

#### 4. Нова модифікована критеріальна функція інформативності спектральних каналів

Розглянемо нову критеріальну функцію інформативності, яка враховує кількість об'єктів кожного класу.

Для кожного інтервалу  $j$  обчислюємо відсоток (долю) “неправильних” пікселів, тобто тих пікселів, що помилково потрапили в даний інтервал. Для цього кількість “неправильних” пікселів ділимо на загальну кількість пікселів, що знаходяться в інтервалі. Отримуємо  $S_j$  – відношення кількості “неправильних” пікселів до загальної кількості пікселів в інтервалі  $j$ . Після того, як ми знайдемо значення всіх величин  $S_j$  для кожного інтервалу, нам треба їх просумувати та поділити на загальну кількість інтервалів.

Нова модифікована критеріальна функція інформативності буде мати вигляд

$$F^* = 1 - \left( \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_j}{J} \right). \quad (11)$$

Дана функція інформативності приймає значення в діапазоні від 0 до 1. Чим ближче значення функції  $F^*$  буде до 1, тим більш інформативним буде даний спектральний канал.

Також формулу (11) ми можемо записати у іншому вигляді, через індикатори:

$$F^* = 1 - \frac{1}{J} (S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_j) = 1 - \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \left( \frac{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^M l_{kj} n_{kj}}{\sum_{k=1}^M l_{kj} n_{kj}} \right), \quad (12)$$

де  $M$  – кількість класів,  $J$  – число інтервалів для ознаки спектрального каналу, що розглядається,  $l_{kj}$  – індикатор зіставлення,

$$l_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{якщо клас } K_k \text{ зіставлений з інтервалом } j, \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

$n_{kj}$  – кількість елементів з  $k$ -го класу, що потрапили в інтервал  $j$ .

#### 5. Порівняльна характеристика критеріальної функції інформативності та нової модифікованої критеріальної функції інформативності на прикладах

##### Приклад 1

Припустимо, ми маємо два класи ( $M = 2$ ). Інтервал значень ознак у кожному спектральному каналі буде розбитий на 2 інтервали.

1. Нехай для першого спектрального каналу ми маємо такі індикатори зіставлення:

$$l_{11} = 1, l_{12} = 0, l_{21} = 0, l_{22} = 1.$$

Також маємо значення  $n_{kj}$ , які вказують на число елементів з  $k$ -го класу, що потрапили в інтервал  $j$ :

$$n_{11} = 5, n_{12} = 0, n_{21} = 0, n_{22} = 5.$$

1) Спочатку обчислюємо звичайну критеріальну функцію інформативності для першого спектрального каналу. Для даного випадку формула (10) буде мати такий вигляд:

$$F_1 = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{l_{11} \cdot l_{21} + l_{12} \cdot l_{22}}{l_{11} + l_{12}} + \frac{l_{21} \cdot l_{11} + l_{22} \cdot l_{12}}{l_{21} + l_{22}} \right].$$

$$\text{Тоді } F_1 = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{1 \cdot 0 + 0 \cdot 1}{1 + 0} + \frac{0 \cdot 1 + 1 \cdot 0}{0 + 1} \right] = 1.$$

2) Тепер обчислюємо модифіковану критеріальну функцію інформативності з урахуванням кількості об'єктів, що потрапили в ці два інтервали:

$$F_1^* = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{l_{21} n_{21}}{l_{11} n_{11} + l_{21} n_{21}} + \frac{l_{12} n_{12}}{l_{12} n_{12} + l_{22} n_{22}} \right].$$

$$F_1^* = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{0 \cdot 0}{1 \cdot 5 + 0 \cdot 0} + \frac{0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 1 \cdot 5} \right] = 1.$$

Отже, в даному випадку ми маємо 100-відсотково вірну класифікацію. Значення критеріальної функції інформативності та модифікованої критеріальної функції інформативності збігаються.

2. Тепер розглянемо другий спектральний канал з такими індикаторами зіставлення:  $l_{11} = 1, l_{12} = 0, l_{21} = 1, l_{22} = 1$  та такими кількостями об'єктів  $k$ -го класу, що потрапили в інтервал  $j$ :

$$n_{11} = 5, n_{12} = 0, n_{21} = 1, n_{22} = 4.$$

1) Тоді звичайна критеріальна функція інформативності для другого спектрального каналу буде мати вигляд

$$F_2 = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{1 \cdot 1 + 0 \cdot 1}{1 + 0} + \frac{1 \cdot 1 + 1 \cdot 0}{1 + 1} \right] = 0,25.$$

2) Тепер обчислюємо модифіковану функцію інформативності для другого спектрального каналу:

$$F_2^* = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{1 \cdot 1}{1 \cdot 5 + 1 \cdot 1} + \frac{0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 1 \cdot 4} \right] = 0,9166666 \approx 0,92.$$

3. Розглянемо третій спектральний канал, що має такі ж самі індикатори зіставлення, як попередній:  $l_{11} = 1, l_{12} = 0, l_{21} = 1, l_{22} = 1$ , але має інші значення  $n_{kj}$ :

$$n_{11} = 5, n_{12} = 0, n_{21} = 2, n_{22} = 3.$$

Тобто, в даному випадку ми маємо гірший результат класифікації, ніж у попередньому, оскільки в цьому випадку кількість об'єктів, що була помилково віднесена з другого класу до першого інтервалу, складає "2", а в першому випадку вона становила "1".

1) Розраховуємо звичайну критеріальну функцію інформативності:

$$F_3 = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{1 \cdot 1 + 0 \cdot 1}{1 + 0} + \frac{1 \cdot 1 + 1 \cdot 0}{1 + 1} \right] = 0,25.$$

Звідси ми бачимо, що отримана звичайна критеріальна функція інформативності співпадає із критеріальною функцією інформативності для другого спектрального каналу, тобто:  $F_3 = F_2$ , хоча, в дійсності, другий і третій канали дають різні результати класифікації. Тобто звичайна критеріальна функція не спроможна вловити та показати різницю в точності класифікації для другого і третього спектральних каналів, оскільки вона не враховує кількості об'єктів.

2) Тепер обчислюємо модифіковану функцію інформативності для третього спектрального каналу:

$$F_3^* = 1 - \frac{1}{2} \left[ \frac{1 \cdot 2}{1 \cdot 5 + 1 \cdot 2} + \frac{0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 1 \cdot 3} \right] = 0,8571428 \approx 0,86.$$

З отриманого результату ми бачимо, що значення модифікованої критеріальної функції інформативності для третього спектрального каналу менше, ніж для другого:  $F_3^* < F_2^*$ , тобто модифікована критеріальна функція спроможна показати різницю між другим та третім спектральними каналами. З отриманого результату ми можемо зробити висновок, що результат класифікації з використанням третього спектрального каналу є менш точним, ніж з використанням другого. Отже, другий канал є більш інформативним, ніж третій.

## Приклад 2

Тепер розглянемо приклад, коли ми маємо 3 класи ( $M = 3$ ). У кожному спектральному каналі інтервал значень ознак буде розбитий на 3 інтервали.

Припустимо, що ми маємо два спектральних канали ( $N = 2$ ). Оцінимо інформативність кожного з цих каналів за допомогою двох функцій інформативності та порівняємо результати.

1. Нехай для першого спектрального каналу ми маємо такі індикатори зіставлення:

$$l_{11} = 1, l_{12} = 0, l_{13} = 0, l_{21} = 1, l_{22} = 1, l_{23} = 0, l_{31} = 0, l_{32} = 0, l_{33} = 1.$$

Значення  $n_{kj}$ , які вказують на число елементів з  $k$ -го класу, що потрапили в інтервал  $j$ , будуть мати такий вигляд:

$$n_{11} = 5, n_{12} = 0, n_{13} = 0, n_{21} = 1, n_{22} = 4, n_{23} = 0, n_{31} = 0, n_{32} = 0, n_{33} = 5.$$

1) Тоді звичайна критеріальна функція інформативності, згідно з формулою (10), для першого спектрального каналу буде мати такий вигляд:

$$F_1 = 1 - \frac{1}{6} \left[ \frac{l_{11}(l_{21} + l_{31}) + l_{12}(l_{22} + l_{32}) + l_{13}(l_{23} + l_{33})}{l_{11} + l_{12} + l_{13}} + \frac{l_{21}(l_{11} + l_{31}) + l_{22}(l_{12} + l_{32}) + l_{23}(l_{13} + l_{33})}{l_{21} + l_{22} + l_{23}} + \frac{l_{31}(l_{11} + l_{21}) + l_{32}(l_{12} + l_{22}) + l_{33}(l_{13} + l_{23})}{l_{31} + l_{32} + l_{33}} \right].$$

Тоді маємо

$$F_1 = 1 - \frac{1}{6} \left[ \frac{1 \cdot (1+0) + 0 \cdot (1+0) + 0 \cdot (0+1)}{1+0+0} + \frac{1 \cdot (1+0) + 1 \cdot (0+0) + 0 \cdot (0+1)}{1+1+0} + \frac{0 \cdot (1+1) + 0 \cdot (0+1) + 1 \cdot (0+0)}{0+0+1} \right] = 0,58.$$

2) Тепер обчислюємо модифіковану функцію інформативності для першого спектрального каналу:

$$F_1^* = 1 - \frac{1}{3} \left[ \frac{1 \cdot 1 + 0 \cdot 0}{1 \cdot 5 + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0} + \frac{0 \cdot 0 + 0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 0} + \frac{0 \cdot 0 + 0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 5} \right] = 0,9444445 \approx 0,94.$$

2. Розглянемо другий спектральний канал, що має такі ж самі індикатори зіставлення, як і попередній:

$$l_{11} = 1, l_{12} = 0, l_{13} = 0, l_{21} = 1, l_{22} = 1, l_{23} = 0, l_{31} = 0, l_{32} = 0, l_{33} = 1,$$

але має інші значення  $n_{kj}$ :

$$n_{11} = 5, n_{12} = 0, n_{13} = 0, n_{21} = 2, n_{22} = 3, n_{23} = 0, n_{31} = 0, n_{32} = 0, n_{33} = 5.$$

Тобто в даному випадку ми маємо менш точний результат класифікації, ніж у попередньому, оскільки в цьому випадку було помилково віднесено не до того класу на один об'єкт більше, ніж у попередньому випадку.

1) Тоді звичайна критеріальна функція інформативності для другого спектрального каналу буде мати такий вигляд:

$$F_2 = 1 - \frac{1}{6} \left[ \frac{1 \cdot (1+0) + 0 \cdot (1+0) + 0 \cdot (0+1)}{1+0+0} + \frac{1 \cdot (1+0) + 1 \cdot (0+0) + 0 \cdot (0+1)}{1+1+0} + \frac{0 \cdot (1+1) + 0 \cdot (0+1) + 1 \cdot (0+0)}{0+0+1} \right] = 0,58.$$

Маємо, що  $F_1 = F_2$ , тобто звичайна критеріальна функція не спроможна вловити різницю класифікації між випадками 1 та 2.

2) Тепер обчислюємо модифіковану функцію інформативності для другого спектрального каналу:

$$F_2^* = 1 - \frac{1}{3} \left[ \frac{1 \cdot 2 + 0 \cdot 0}{1 \cdot 5 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 0} + \frac{0 \cdot 0 + 0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 1 \cdot 3 + 0 \cdot 0} + \frac{0 \cdot 0 + 0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 5} \right] = 0,904762 \approx 0,9.$$

Отже, маємо, що  $F_2^* < F_1^*$ . З цього випливає, що результат класифікації із використанням другого спектрального каналу є менш точним, ніж з використанням першого. Перший канал є більш надійним та інформативним, ніж другий.

## 6. Висновки

У даній роботі аналізується використання гіперспектральних зображень при розв'язанні тематичних задач ДЗЗ, зокрема, задач класифікації. Увага акцентується на тому, що більша частина зональних зображень, яка складає гіперспектральне зображення, є зашумленими і несуть недостатньо корисної інформації. Тому була розв'язана задача, яка полягала у виборі найбільш корисних спектральних каналів [13–15].



Було розглянуто різні методи відбору найбільш інформативних спектральних каналів, такі як критерій Фішера, його модифікації та критеріальна функція інформативності. У статті була також наведена нова модифікована критеріальна функція інформативності, яка, на відміну від інших критеріїв, враховує кількість об'єктів кожного класу і дає більш точну оцінку інформативності спектральних каналів, що було, у свою чергу, продемонстровано на прикладах.

Експериментальна перевірка запропонованої модифікованої критеріальної функції інформативності доводить її ефективність та надійність при розв'язанні задач класифікації.

У майбутньому запропонована методика буде використовуватися при розв'язанні задач класифікації лісів, урбанізованих територій, сільськогосподарських земель, при пошуку корисних копалин, нафти, газу та при розв'язанні різноманітних природоресурсних задач.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bandos T.V. Classification of Hyperspectral Images with Regularized Linear Discriminant Analysis / T.V. Bandos, L. Bruzzone, G. Camps-Valls // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 47, N 3. – P. 862 – 873.
2. Попов М. Методы оптимизации числа спектральных каналов в задачах обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли / М. Попов, С. Станкевич // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – М.: ИКИ РАН. – 2006. – Т. 2, № 1. – С. 61 – 63.
3. McCoy R.M. Fields Methods in Remote Sensing / McCoy R.M. – New York: Guilford Press, 2005. – P. 150 – 160.
4. Попов М.О. Сучасні погляди на інтерпретацію даних аерокосмічного дистанційного зондування Землі / М.О. Попов // Космічна наука і технологія. – 2002. – № 2/3. – С. 110 – 115.
5. Abidi M.A. Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence / M.A. Abidi, R.C. Gonzalez. – New York: Academic, 1992. – P. 562 – 569.
6. Story M. Accuracy assessment: A user's perspective / M. Story, R.G. Congalton // Photogramm. Eng. Remote Sensing. – 1986. – Vol. 52. – P. 397 – 399.
7. Еремеев В. Современные гиперспектральные сенсоры и методы обработки гиперспектральных данных / В. Еремеев, И. Мордвинцев, Н. Платонов // Исследование Земли из космоса. – 2003. – № 6. – С. 80 – 90.
8. Попов М.О. Методология оценки точности классификации объектов на космических изображениях / М.О. Попов // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 1. – С. 97 – 103.
9. Альперт С.І. Оцінка точності класифікації космічних зображень на основі теорії Демпстера-Шафера / С.І. Альперт // Збірник праць XI Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції “Історія розвитку науки, техніки та освіти” за темою “Розбудова дослідницького університету”. – Київ, 2013. – С. 242 – 245.
10. Попов М. Підхід до класифікації стану лісових ресурсів по багатоспектральних космічних зображеннях на основі принципу злиття даних та використання елементів ГІС-технологій / М. Попов, О. Рябоконеко, О. Петроченко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – (Сер. «География»). – 2003. – Т. 16 (55), № 2. – С. 142 – 150.
11. Альперт С.І. Сучасні критерії оцінки точності класифікації аерокосмічних зображень / С.І. Альперт // Математичні машини і системи. – 2013. – № 4. – С. 187 – 197.
12. Brownlee K.A. Statistical theory and methodology in science and engineering / Brownlee K.A. – New York: John Wiley and Sons, 1965. – P. 580 – 590.
13. Альперт С.І. Аналіз методів відбору найбільш інформативних спектральних каналів для вивчення об'єктів дистанційного зондування / С.І. Альперт // Математичні машини і системи. – 2014. – № 2. – С. 71 – 77.
14. Hardin P.J. Statistical significance and normalized confusion matrices / P.J. Hardin, J.M. Shumway // Photogramm. Eng. Remote Sensing. – 1997. – Vol. 63. – P. 735 – 740.
15. Кононов В. Сравнительная оценка информативности цифровых аэрокосмических изображений высокого и низкого разрешения / В. Кононов, С. Станкевич // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2004. – Т. 17, № 2. – С. 88 – 95.

*Стаття надійшла до редакції 26.02.2015*