

УКРАЇНА

UKRAINE



# ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 81195

## СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

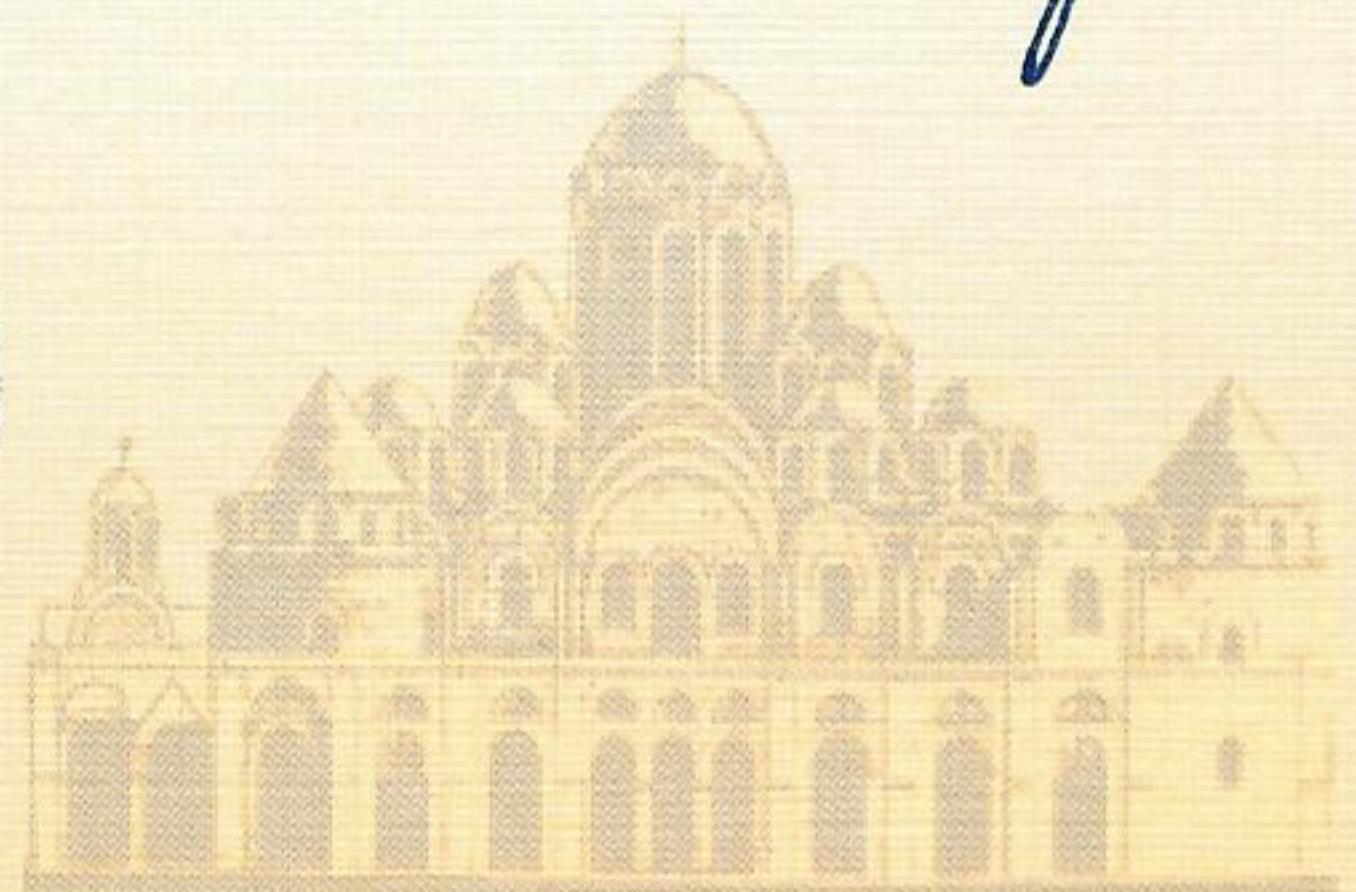
Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи  
**10 грудня 2007 р.**

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

М.В. Паладій

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Паладій".





УКРАЇНА

(19) UA (11) 81195 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G06K 9/00  
G06K 9/46  
G06K 9/62  
G06K 9/80

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ РОЗРІЗНЕННОСТІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

1

(21) a200607489  
(22) 05.07.2006  
(24) 10.12.2007  
(72) ПОПОВ МИХАЙЛО ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, СТАНКЕВИЧ СЕРГІЙ АРСЕНІЙОВИЧ, UA, КОЗЛОВА АННА ОЛЕКСАНДРІВНА, UA  
(73) НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАН УКРАЇНИ, UA  
(56) WO 03088130 23.10.2003  
US 5400265 21.03.1995  
US 6778702 17.08.2004  
US 3984669 5.10.1976  
US 6002479 14.12.1999  
US 6484099 19.11.2002  
UA 23311 A 31.08.1998  
US 6075891 13.06.2000  
WO 2005086890 22.09.2005  
US 6763136 13.07.2004  
US 6741740 25.05.2004  
US 5991023 23.11.1999  
SU 1790771 23.01.1993  
UA 75299 C2 28.03.2005  
(57) Спосіб підвищення спектральної розрізненості багатоспектральних аерокосмічних зображень, при якому одержують функції спектральної чутливості існуючих спектральних каналів багатоспектрального аерокосмічного зображення, які перекриваються за спектром, визначають функцію

2

спектральної чутливості додаткового спектрально-го каналу та розраховують сигнал у кожному пікселі додаткового спектрального каналу багатоспектрального аерокосмічного зображення, який відрізняється тим, що після цього здійснюють радіометричне калібрування багатоспектрального аерокосмічного зображення, після якого проводять попередній аналіз складу об'єктів сцени багатоспектрального аерокосмічного зображення, за результатами якого з бібліотеки спектрів відбирають набір спектрів об'єктів сцени, після чого виконують перерахунок відібраних спектрів об'єктів сцени до спектральних сигнатур вказаних об'єктів на багатоспектральному аерокосмічному зображені, за набором спектральних сигнатур об'єктів сцени проводять класифікування спектральної сигнатури кожного елемента багатоспектрального аерокосмічного зображення, за результатами класифікування обчислюють вектор апостеріорних імовірностей належності даної спектральної сигнатури кожному з об'єктів сцени, далі з використанням спектральних характеристик об'єктів сцени та відповідних апостеріорних імовірностей для довільного спектрального діапазону розраховують додаткові відліки спектральних сигнатур всіх елементів зображення, та одержують тим самим багатоспектральне аерокосмічне зображення підвищеної спектральної розрізненості.

(13) C2

(11) 81195

(19) UA

Винахід відноситься до напрямку попереднього оброблення багатоспектральних аерокосмічних зображень, що отримуються системами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Сучасні сенсори аерокосмічних систем ДЗЗ мають, як правило, декілька робочих спектральних каналів. Але якщо раніше кількість робочих каналів обмежувалася одиницями, то деякі зразки новітньої оптико-електронної апаратури мають десятки-сотні спектральних каналів (подібні сенсори називають гіперспектральними). Діапазони спектральної чутливо-

сті окремих робочих каналів такої апаратури можуть бути дуже вузькими, а загальна смуга спектральної чутливості системи охоплювати декілька спектральних діапазонів - від ультрафіолетового до далекого інфрачервоного. Через енергетичні обмеження при цьому не вдається забезпечити високі просторову розрізnenість та радіометричну якість зображень, але досвід інтерпретації показує, що зображення, отримані в багатьох вузьких спектральних зонах, несуть додаткову унікальну

інформацію про властивості об'єктів спостереження [1].

Розробниками багатоспектральних аерокосмічних сенсорів докладаються зусилля та вживаються заходи щодо збільшення кількості робочих спектральних діапазонів в них - тобто підвищення спектральної розрізnenості, що є актуальною науково-технічною задачею.

Більшість відомих технічних рішень цієї задачі є апаратними - з використанням цифрових спектроаналізаторів для підвищення числа спектральних каналів [2], з використанням спеціалізованих апаратних трансд'юсерів для підвищення спектральної розрізnenості мінімум вдвічі [3], з використанням оптичних процесорів обробки прийнятого випромінювання для виявлення тонких спектральних структур [4].

Недоліками подібних способів є необхідність оброблення оптичних сигналів безпосередньо в процесі реєстрації, тобто в реальному масштабі часу на борту, що призводить до їх складності та високої вартості.

Також достатньо широко розповсюжені способи збільшення кількості спектральних діапазонів шляхом постобразовлення багатоспектральних аерокосмічних зображень, які забезпечують гнучкість, універсальність, простоту реалізації, можливість застосування тільки в разі потреби.

Відомий спосіб підвищення спектральної розрізnenості багатоспектральних аерокосмічних зображень [аналог - United States Patent No 5,400,265], за яким одержують багатоспектральне аерокосмічне зображення, де кожному елементу відповідає власна спектральна сигнатуря, для кожного елемента багатоспектрального аерокосмічного зображення виконують Фур'є-деконволюцію спектральної сигнатури, в Фур'є-області здійснюють лінійну інтерполяцію дискретних відліків, проводять встановлення спектральної сигнатури підвищеної спектральної розрізnenості, що містить додаткові спектральні відліки [5].

Недоліками вказаного способу є недостатня точність інтерполяції, яка виникає через неврахування фізичних (спектрорадіометричних) характеристик багатоспектральної апаратури і об'єктів сцени і тим самим понижує достовірність відтворення додаткових зональних зображень.

Найбільш близьким до способу, що пропонується [прототип - патент України №UA 75299], є спосіб одержання додаткових зональних зображень багатозонального цифрового аерокосмічного знімка, при якому одержують функції спектральної чутливості існуючих спектральних каналів багатоспектрального аерокосмічного зображення, які перекриваються за спектром, визначають функцію спектральної чутливості додаткового спектрального каналу та розраховують сигнал у кожному пікселі додаткового спектрального каналу багатоспектрального аерокосмічного зображення [6].

Недоліками вказаного способу є недостатня точність інтерполяції, яка виникає через неврахування фізичних (спектрорадіометричних) характеристик об'єктів сцени і тим самим понижує достовірність відтворення додаткових зональних зображень.

Усути цей недолік можна тільки із залученням додаткової інформації про об'єкти, що складають сцену ДЗЗ. Якщо в межах сцени є об'єкт з відомою спектральною характеристикою відбиття (випромінювання)  $r(\lambda)$ , то його спектральний відлік  $r_k$  в будь-якому k-му спектральному каналі,  $k=1\dots n$ , з довжинами хвиль від  $\lambda_k$  до  $\lambda_k + \Delta\lambda_k$  визначиться як

$$r_k = \frac{1}{\Delta\lambda_k} \int_{\lambda_k}^{\lambda_k + \Delta\lambda_k} r(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Радіометричне значення сигналу  $E_k$  в k-му спектральному каналі багатоспектрального аерокосмічного зображення складає

$$E_k = \alpha_k \cdot r_k \quad (2)$$

де  $\alpha_k$  - коефіцієнт передавання багатоспектрального сенсора в k-му спектральному каналі. Встановлення коефіцієнтів передавання проводиться, як правило, шляхом калібрування сенсора на завікових ділянках сцени по багатоспектральних зображеннях відомих об'єктів [7].

Якщо визначено величини коефіцієнтів передавання сенсора в усіх спектральних діапазонах, із (2) можна встановити спектральну сигнатуру об'єкта сцени - множину радіометричних значень його сигналу в усіх спектральних каналах. Спектральні сигнaturи зазвичай індивідуальні для майже всіх об'єктів ДЗЗ, тому за ними можна визначити об'єкти на багатоспектральному зображенні сцени. Необхідно умовою такого визначення є відомості про спектральні характеристики цих об'єктів. При задоволенні цієї умові, наприклад, при наявності бібліотеки спектрів типових об'єктів ДЗЗ, з'являється реальна можливість проведення класифікування спектральних сигнатур для кожного елемента розрізnenня багатоспектрального аерокосмічного зображення [8].

По завершенні класифікування стає можливим спрогнозувати радіометричні значення сигналів для будь-якого спектрального діапазону, відсутнього у вхідному багатоспектральному аерокосмічному зображенні. Здійснивши цю процедуру для всіх елементів зображення в необхідних додаткових спектральних діапазонах, одержимо багатоспектральне аерокосмічне зображення підвищеної спектральної розрізnenості.

Особливостями відомих алгоритмів класифікації аерокосмічних зображень є наявність певної кількісної оцінки належності поточного елемента кожному i-му з m розглянутих класів об'єктів, тобто рішення про класифікацію приймається з певною часткою вірогідності. Для статистичних алгоритмів - це умовна імовірність  $C_i$  [9]. Якщо поточний елемент зображення має ненульові оцінки належності декільком класам, слід застосовувати деяке вирішальне правило при визначені радіометричного значення сигналу в додатковому спектральному діапазоні. Часто застосовується лінійне зваження із значеннями апостеріорної імовірності класів  $P_i$  за Байесом:

$$E_{n+1} = \alpha_{n+1} \sum_{i=1}^m P_i \cdot r_{(n+1)i} \quad (3)$$

де  $r_{(n+1)i}$  - спектральний відлік об'єкта i-го класу в (n+1)-му спектральному каналі,

$$P_i = \frac{A_i \cdot C_i}{\sum_{j=1}^m A_j \cdot C_j} \quad (4)$$

$A_i$  - апріорна імовірність наявності  $i$ -го класу на багатоспектральному аерокосмічному зображення. Аналогічного (3) вигляду набуває вираз для  $E_{n+1}$  у випадку суміші спектрів, тільки величина  $P_i$  при цьому має розглядатися як частка  $i$ -го спектрального компоненту в суміші [10].

Таким чином, пропонується новий спосіб підвищення спектральної розрізnenості багатоспектральних аерокосмічних зображень на основі класифікування спектральних сигнатур об'єктів, що враховує їх фізичні (спектрорадіометричні) характеристики. Необхідну послідовність операцій показано на Фіг.

Одержанується багатоспектральне аерокосмічне зображення (1), здійснюється його радіометричне калібрування (2) для визначення коефіцієнтів передавання спектральних каналів сенсора за формулою (2), проводиться попередній аналіз складу об'єктів сцени (3) багатоспектрального аерокосмічного зображення, за результатами якого з бібліотеки спектрів (4) відбирається набір спектрів об'єктів сцени  $r_i(\lambda)$ ,  $i=1\dots m$  (5). Виконується перерахунок (6) відібраних спектрів об'єктів сцени до спектральних сигнатур вказаних об'єктів на багатоспектральному аерокосмічному зображення за формулами (1) і (2). За набором спектральних сигнатур об'єктів сцени проводиться класифікування спектральної сигнатури кожного елемента багатоспектрального аерокосмічного зображення одним із відомих способів, за результатами класифікування за формулою обчислюється (4) вектор апостеріорних імовірностей  $P_i$ ,  $i=1\dots m$ , належності даної спектральної сигнатури кожному з об'єктів сцени (7), далі з використанням спектральних характеристик об'єктів сцени та відповідних апостеріорних імовірностей по формулі (3) для довільного ( $n+1$ )-го спектрального діапазону розраховуються додаткові відліки спектральних сигнатур всіх елементів зображення (8) та одержується додаткове зональне зображення (9), що еквівалентно підвищенню спектральної розрізnenості вхідного багатоспектрального аерокосмічного зображення. Вся процедура повторюється необхідну кількість разів до отримання всіх необхідних додаткових зональних зображень.

Отже, в способі запропоновано порядок дій та умови їх здійснення з метою підвищення спектральної розрізnenості багатоспектральних аерокосмічних зображень на основі класифікування спектральних сигнатур об'єктів, що дозволяє врахувати фізичні (спектрорадіометричні) характеристики об'єктів сцени і тим самим покращити якість багатоспектрального аерокосмічного зображення.

#### Література

- Landgrebe D.A. Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing.- Hoboken: John Wiley, 2003.- 512p.
- Lehmann J.L., Lynch F. Fully digital spectrum analyzer using time compression and Discrete Fourier Transform techniques / United States Patent No 3,984,669.- October 5, 1976.- 19p.
- Morawski R.Z., Barwicz A., Slima M.B., Miekina A. Method of interpreting spectrometric data / United States Patent No 5,991,023.- November 23, 1999.- 22p.
- Barwicz A., Morawski R.Z., Slima M.B. Apparatus and method for light spectrum measurement / United States Patent No 6,002,479.- December 14, 1999.- 21p.
- Kauppinen J. Procedure for enhancing resolution of spectral information / United States Patent No 5,400,265.- March 21, 1995.- 7p.
- Мосов С.П., Станкевич С.А., Попов М.О., Волошин В.І. Способ одержання додаткових зональних зображень багатозонального цифрового аерокосмічного знімка / Патент України на винахід №UA 75299.- 15.03.2006.- 4c.
- Sweet J.N. Method and apparatus for determining spectral similarity / United States Patent No 6,763,136.- July 13, 2004.- 13p.
- Sweet J.N. Method and apparatus for assessing the quality of spectral images / United States Patent No 6,778,702.- August 17, 2004.- 12p.
- Станкевич С.А., Козлова А.О. Особливості розрахунку індексу видового різноманіття за результатами статистичної класифікації аерокосмічних знімків // Ученые записки Таврійского національного університета ім. В.І.Вернадского, 2006.- Т.19 (58).- В печаті.
- Sunshine J.M., Tompkins S., McNaron-Brown K.S. Method for selecting representative endmember components from spectral data / United States Patent No 6,741,740.- May 25, 2004.- 11p.