



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115450** (13) **C2**
(51) МПК

G06K 9/46 (2006.01)

G06K 9/34 (2006.01)

G06K 9/62 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2015 03292**

(22) Дата подання заявки: **07.04.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **10.11.2017**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **10.10.2016, Бюл.№ 19**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.11.2017, Бюл.№ 21**

(72) Винахідник(и):
**Федоровський Олександр Дмитрович (UA),
Якимчук Владислав Григорович (UA),
Суханов Костянтин Юрійович (UA),
Соколовська Анна Василівна (UA),
Порушкевич Анатолій Юрійович (UA)**

(73) Власник(и):
**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА "НАУКОВИЙ
ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЗЕМЛІ ІГН НАН УКРАЇНИ",
вул. Олеся Гончара, 55-б, м. Київ, 01601
(UA)**

(74) Представник:
Цимбал Тетяна Володимирівна

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:
**UA 105291 C2, 25.04.2014
UA 95679 C2, 25.08.2011
UA 90990 C2, 10.06.2010
US 7194111 B1, 20.03.2007
US 7194132 B1, 20.03.2007
WO 2004069305 A2, 19.08.2004
WO 2010104462 A1, 16.09.2010
CN 103942562 A, 23.07.2014
US 2015003713 A1, 01.01.2015**

**(54) СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ДОВКІЛЛЯ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АЕРОКОСМІЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ**

(57) Реферат:

Спосіб виявлення аномалій довкілля різного походження за спектральними характеристиками аерокосмічного зображення належить до науково-технічного напрямку цифрового оброблення та аналізу аерокосмічних зображень. Спосіб полягає в доповненні двох критеріїв: структурно-текстурних характеристик і даних про геометричні форми аномалій, та третім - попиксельними значеннями спектральних індексів, які розраховуються в результаті операцій з різними спектральними діапазонами. Остаточне рішення про клас аномалії, за вказаними критеріями, приймається методом багатокритеріальної оптимізації. Спосіб дозволяє підвищити вірогідність визначення аномалій довкілля різного походження.

UA 115450 C2

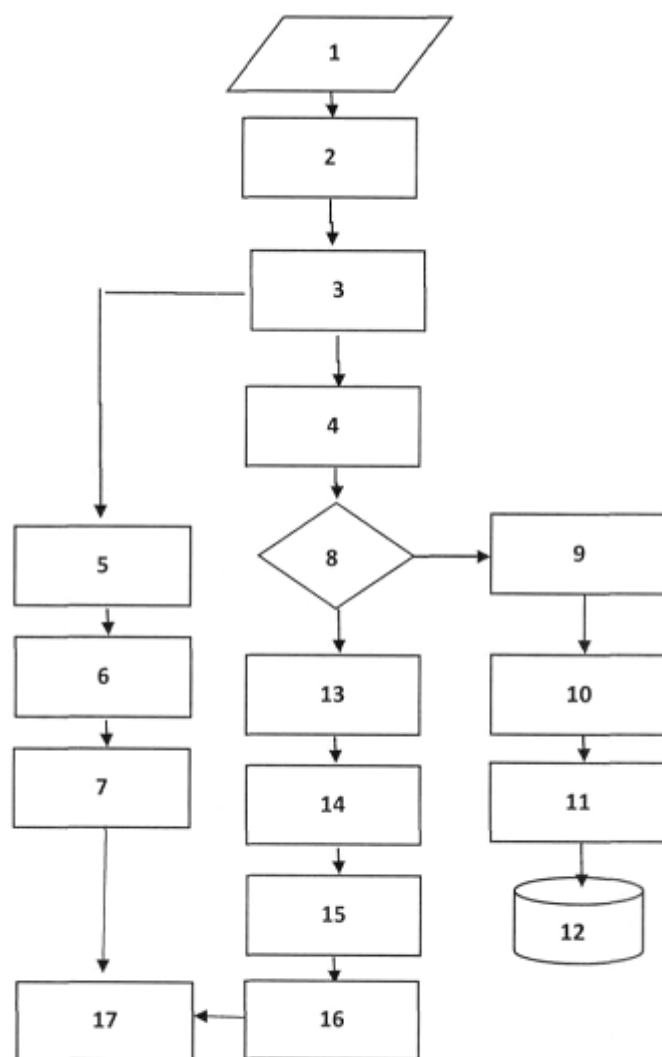


Fig. 1

Спосіб виявлення аномалій довкілля різного походження за спектральними характеристиками аерокосмічного зображення належить до науково-технічного напрямку цифрового оброблення та аналізу аерокосмічних зображень.

Відомо багато способів розпізнавання об'єктів та виявлення аномалій на багатоспектральних та гіперспектральних зображеннях [1-3]. Вказані способи базуються на тому положенні, що об'єкти (аномалії) довкілля та фон мають різні спектральні характеристики (спектральні сигнатури). Тому, розрізняючи спектральні сигнатури на зображенні в процесі його аналізу, можна відокремлювати аномалії від навколишнього фону та розпізнавати їх.

В [1] описано "Метод та пристрій гіперспектральної візуалізації" (US Patent №6,008,492), який дозволяє виявляти та розпізнавати компактні техногенні об'єкти на багатоспектральних або гіперспектральних зображеннях за умови, що відома спектральна інформація про матеріал (речовину), з якого виготовлена їхня зовнішня поверхня (покриття). Ідентифікація матеріалу здійснюється в процесі порівняння спектральних сигналів, зареєстрованих на зображенні, зі спектральними відбиваючими властивостями різних матеріалів. За результатами порівняння приймається рішення щодо наявності об'єкта та визначення його класу. На жаль, спосіб [1] має той недолік, що на практиці спектральна інформація про матеріали (речовини), з яких можуть бути виготовлені об'єкти інтересу, часто відсутня або відома лише частково.

Щоб отримати необхідну інформацію для виявлення та розпізнавання аномалій у патенті "Метод коваріаційного вирівнювання для гіперспектральних систем дистанційного зондування" (US Patent №7,194,111) [2] пропонується спосіб послідовного накопичення інформації про спектральні властивості як аномалій, так і навколишнього фону, з формуванням відповідної бази даних. Але такий шлях потребує проведення неодноразової зйомки визначеної території та не виправданих витрат часу. Крім того, точність розпізнавання недостатня у випадках, коли спектральні властивості аномалій і фону достатньо близькі.

У "Способі розпізнавання об'єктів на багатоспектральному/гіперспектральному аерокосмічному зображенні" (ПУ № 90990) [3] розпізнавання об'єктів на аерокосмічному зображенні виконується за допомогою спектральної фільтрації пікселів зображення, що за своїми спектральними властивостями не співпадають з навколишнім фоном, потім навколо кожного з виявлених пікселів формується апертура (область навколо пікселя) з розмірами, що дозволяють охопити будь-який об'єкт з числа класів, що розглядаються та формується опис об'єкта, на основі якого приймається рішення щодо класової приналежності даного об'єкта. Даний спосіб не враховує структурно-текстурні характеристики зображення об'єктів, які є досить важливими в багатьох задачах.

Відомий "Спосіб дешифрування оптичних аномалій на аерокосмічних знімках" (ПУ № 95679) [4] має за основу взаємозв'язок між параметрами природного середовища: мультиспектральними, геологічними, топографічними з наявністю відповідних оптичних аномалій, який полягає у тому, що на основі аерокосмічних та наземних досліджень отримують кількісні значення вказаних параметрів для еталонних та досліджуваних ділянок та співставляють ці параметри і роблять висновки про наявність оптичних аномалій на кожній досліджуваній ділянці, який відрізняється тим, що використовують об'єктивні числові оцінки взаємозв'язку між параметрами ділянок з наявністю оптичних аномалій, для чого обчислюють кореляційні зв'язки між цими параметрами для еталонних ділянок, на яких є досліджувані оптичні аномалії, формують систему рівнянь, яка характеризує баланс взаємного впливу перерахованих параметрів, кожний з яких представляють у вигляді суми впливів на нього інших параметрів, за допомогою сформованих рівнянь і отриманих коефіцієнтів кореляції обчислюють значення коефіцієнтів впливу між вказаними параметрами, на основі визначених параметрів досліджуваних ділянок та системи рівнянь з отриманими коефіцієнтами впливу одержують числові значення, які прямо пропорційні рівню наявності на кожній досліджуваній ділянці оптичних аномалій. Але спосіб може застосовуватись для певних ділянок на місцевості, а не окремих пікселів.

Відомий "Спосіб розпізнавання об'єктів на багатоспектральному/гіперспектральному аерокосмічному зображенні" (ПУ № 105291, прототип) [5], згідно з яким для об'єктів або аномалій заданих класів заздалегідь формують еталони структурно-текстурних характеристик, після локалізації аномалії на місцевості визначають для нього матрицю суміжних ймовірностей, потім визначають функцію відповідності об'єкта еталонам для заданих класів (функція відповідності об'єкта) і відносять досліджуваний об'єкт до того або іншого класу за максимальним значенням функції відповідності, остаточне рішення про клас об'єкта приймають на основі комплексування структурно-текстурних характеристик зі спектральною інформацією і даними про геометричні форми об'єктів заданих класів. Проте рішення про клас об'єкта за даним способом приймається для певної множини пікселів класу, що не може застосовуватись

для класифікації кожного пікселя. Недоліком є також те, що не враховується взаємозв'язок інтенсивності різних довжин хвиль спектрального випромінювання.

Задача способу, що пропонується - усунення вказаних недоліків, а саме підвищення вірогідності визначення аномалій за рахунок уточнення структурно-текстурних характеристик і даних про геометричні форми аномалій попіксельними значеннями спектральних індексів - показників, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами.

Характерною ознакою рослинності є спектральна відбивна здатність, що характеризується значеннями випромінювання різних довжин хвиль. Знання про зв'язок структури й стану рослинності з її спектральними характеристиками дозволяють використовувати спектрограми та гіперспектральні знімки для ідентифікації типів рослинності і їх стану, який залежить від багатьох факторів. Виявлення аномалій природного та техногенного походження базується на положеннях, що фізіологічний стан рослин та їхні спектральні характеристики визначаються сукупністю геохімічних і біохімічних факторів довкілля.

Для роботи зі спектральною інформацією часто створюють так звані спектральні індекси [6, 7]. На основі комбінації значень яскравості в певних каналах, інформативних для виділення досліджуваної аномалії, і розрахунків за цими значеннями "спектрального індексу" аномалії будується зображення, відповідне до значення індексу в кожному пікселі, що й дозволяє виділити досліджувану аномалію або оцінити його стан.

При обробці космічних знімків у програмному комплексі ENVI [8] є спеціальний калькулятор вегетаційних індексів ENVI, який дозволяє розрахувати ряд вегетаційних індексів, які використовуються для оцінки стану рослинності, вмісту пігментів, азоту, вуглецю, води.

В способі, що пропонується, інформативні спектральні характеристики виявлення аномалій визначаються на основі адаптивного спектрального індексу - показника, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) спектральних даних.

Виявлення аномалій на основі адаптивних спектральних індексів (ACI) полягає у визначенні відмінності ACI аномалій або ділянок першого класу $ASI(c_i)$ і фону або ділянок другого класу - $ASI(s_j)$, де c_i - точки першого класу, ($i=1, 2, \dots, I$), s_j - точки другого класу, ($j=1, 2, \dots, J$). Відмінність визначається, виходячи з умови максимальної відстані між середніми значеннями спектрального індексу для еталонних точок першого і другого класів.

На етапі навчання визначення оптимальних довжин хвиль λ_p і λ_q ($p = 1, 2, \dots, P-1$, $q=2, 3, \dots, P$) де P - кількість спектральних каналів, проводиться по наведеному далі алгоритму. Для спектрів, отриманих на першій ділянці ASI визначається відповідно до виразу

$$ASI(c_i) = \frac{L(\lambda_p, c_i) - L(\lambda_q, c_i)}{L(\lambda_p, c_i) + L(\lambda_q, c_i)}, \quad (1)$$

де c_i - точки першої ділянки, ($i=1, 2, \dots, I$), $p = 1, 2, \dots, P-1$, $q=2, 3, \dots, P$.
Для спектрів, отриманих на другій ділянці ASI визначається відповідно до виразу

$$ASI(s_j) = \frac{L(\lambda_p, s_j) - L(\lambda_q, s_j)}{L(\lambda_p, s_j) + L(\lambda_q, s_j)}, \quad (2)$$

де s_j - точки другої ділянки, ($j=1, 2, \dots, J$).
На основі середніх значень ACI для ділянок першого класу $ASI(C)$ й другого - $ASI(S)$ обчислюється модуль їх різниці M_n

$$M = |ASI(C) - ASI(S)|. \quad (3)$$

Далі обчислюємо значення (3) між усіма парами i -х точок першого класу й j -х другого класу, з отриманих значень $M(i, j)$ вибираємо найбільші, для яких фіксуємо пари довжин хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$.

Класифікацію аномалій за спектрограмами пропонується виконувати в просторі адаптивних спектральних індексів, що визначають відмінність класів, обчислену у відповідності до формули (3), осі визначаються як відповідні значення пари довжин хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$.

Ухвалення рішення за спектрограмами по виявленню аномалій виконується на підставі визначення найближчої до отриманих при навчанні аномалій.

Розглянемо суть пропонованого способу (фіг.1). На етапі "розпізнавання аномалій" вибирається фрагмент цифрової карти місцевості, що відповідає ділянці місцевості на

багатоспектральному або гіперспектральному зображенні (блок 1), і знімок прив'язується до цифрової карти. У загальному випадку задаються номенклатура класів (блок 2), геометричні форми аномалій і структурно-текстурні характеристики (блок 3), а також спектральні характеристики (блок 4) аномалій всіх класів та фону.

Відповідно до "Способу розпізнавання об'єктів на багатоспектральному/гіперспектральному аерокосмічному зображенні" (ПУ № 105291) [5] після локалізації аномалії визначаються марковські моделі (блок 5) та функції відповідності усім класам аномалій (блок 6), структурно-текстурні характеристики яких відомі. Рішення про клас аномалій (блок 7) приймається за мінімальним значенням функції відповідності.

Алгоритм виявлення оптичних аномалій на основі АСІ полягає в наступному:

Етап 1: Навчання для методу АСІ (з блока 8 стрілка вправо на блок 9).

1.1 Визначення АСІ за виразами (1) і (2) на основі спектральної інформації на еталонних ділянках для пар класів (блок 9).

1.2 Визначення по формулі (3) найбільших значень $M(i, j)$ блок 10.

1.3 В блоці 11 для найбільших значень фіксуються пари довжин хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$.

1.4 Всі значення $M(i, j)$ і відповідні пари довжин хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$ зберігаються в блоці 12.

Етап 2: виявлення аномалій за методом АСІ (з блока 8 стрілка вниз). 2.1 Визначення АСІ за виразами (1) і (2) на основі спектральної інформації на тестових ділянках для пар класів (блок 13).

2.2 Визначення по формулі (3) значень $M(i, j)$ блок 14.

2.3 В блоці 15 для визначеного значення $M(i, j)$ фіксується пара довжин хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$.

2.4 Одержані значення $M(i, j)$ та відповідні пари довжин хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$ в блоці 16 порівнюються з еталонними, які зберігаються в блоці 12. Приклад еталонних значень $M(i, j)$ та довжини хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$ для варіанту трьох класів наведено на фіг. 2.

Тобто в блоці 16 для відповідних довжини хвиль $\lambda_p(i, j)$ і $\lambda_q(i, j)$ визначаються відстані до еталонних значень $M(i, j)$ і за мінімальною відстанню точка відноситься до певного еталону.

Остаточне рішення про клас аномалії приймається методом багатокритеріальної оптимізації на основі даних про геометричні форми f_1 , структурно-текстурних характеристик f_2 та адаптивних спектральних індексів f_3 . Задача багатокритеріальної оптимізації полягає у пошуку вектора цільових змінних, який задовольняє накладеним обмеженням та оптимізує векторну функцію, елементи якої відповідають цільовим функціям.

Для отримання оптимального розв'язку використовуються методи скаляризації. Оскільки цільова функція задачі багатокритеріальної оптимізації має векторні значення, її перетворюють на функцію зі скалярним значенням. Таким чином, задача багатокритеріальної оптимізації зводиться до задачі оптимізації з однією скалярною цільовою функцією у вигляді зваженої суми

$$F = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3, \quad (4)$$

яка дозволяє одержати розв'язок, відповідно до переваг людини, що приймає рішення на множині всіх критеріїв оптимізації.

Остаточне рішення про клас аномалії приймається за формулою (4) в блоці 17 на основі даних про геометричні форми, структурно-текстурних характеристик (блок 7) та адаптивних спектральних індексів (блок 16).

1. Patent №6,008,492 United States, International Classes: G01J3/28; G01J3/50; G01J3/12; G01J3/18; G01J003/50. Hyperspectral imaging method and apparatus / Slater D., Herrick M., Bruce R. Publication Date: 12/28/1999.

2. Patent №7,194,111 United States, International Classes: G06K9/00; G01V3/38; G06F19/00; G06K9/46; G06K9/62; G06K9/66; H04N7/18. Hyperspectral remote sensing systems and methods using covariance equalization / Schaum A.P., Mayer R.R. Publication Date: 03/20/2007.

3. Попов М.О., Станкевич С.А., Гунько Ю.І., Кондратов О.М., Андронов В.В., Топольницький М.В. Спосіб розпізнавання об'єктів на багатоспектральному/гіперспектральному аерокосмічному зображенні. Патент України № 90990 від 10.06.2010 р.

4. Федоровський О.Д., Якимчук В.Г., Тімченко І.Є., Підгородецька Л.В. Спосіб дешифрування оптичних аномалій на аерокосмічних знімках. Патент України № 95679 від 25.05.2011 р.

5. Федоровський О.Д., Якимчук В.Г., Порущкевич А.Ю. Спосіб розпізнавання об'єктів на багатоспектральному/гіперспектральному аерокосмічному зображенні. Патент України № 105291 від 25.04.2014 р.

6. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // Third ERTS Symposium. NASA SP-351 I. 1973. P. 309-317.

7. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation / C. J. Tucker // Remote Sensing of Environment. -1979.-Vol. 8.-P. 127-150.

8. Exelis. ENVI Tutorial: Vegetation Analysis [Електронний документ]. - (http://www.exelisvis.com/portals/Q/pdfs/envi/Vegetation Analysis.pdf)

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб виявлення аномалій довкілля різного походження за спектральними характеристиками аерокосмічного зображення, згідно з яким виконують спектральну фільтрацію пікселів зображення і виявляють пікселі, що за своїми спектральними характеристиками не збігаються з навколишнім фоном, навколо кожного з виявлених пікселів формують апертуру з центром у такому пікселі і з розмірами, що дозволяють охопити будь-яку аномалію з числа класів, що розглядаються, який **відрізняється** тим, що для аномалій заданих класів заздалегідь формують еталони адаптивних спектральних індексів (ACI), після локалізації аномалії, пов'язаної з місцевістю, визначають для неї класи на основі виміряних спектральних характеристик, а відмінність отриманих класів, обчислюють як модуль різниці їх з еталонними класами з ACI, потім визначають функцію відповідності аномалії еталонам для заданих класів (функція відповідності аномалії) і відносять досліджувану аномалію до того або іншого класу за мінімальним значенням функції відповідності, остаточне рішення про клас аномалії приймають на основі даних про геометричні форми, структурно-текстурні характеристики та адаптивні спектральні індекси.

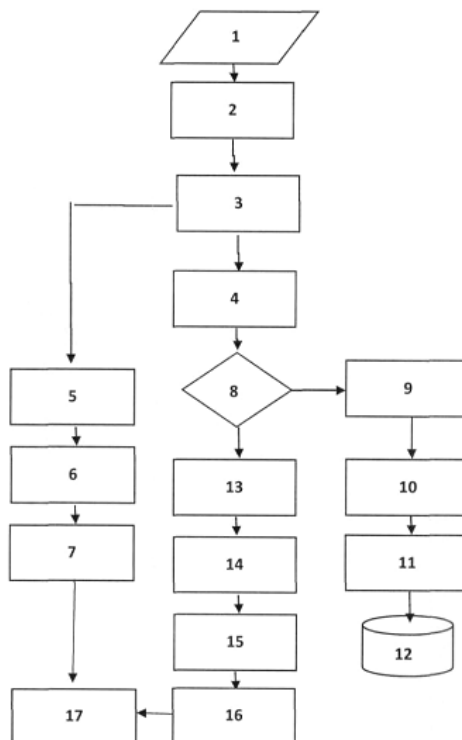


Fig. 1

	Клас 1		Клас 2	
	$\lambda_p(i, j)$	$\lambda_q(i, j)$	$\lambda_p(i, j)$	$\lambda_q(i, j)$
	$M(i, j)$		$M(i, j)$	
Клас 2	369	1961		
	-0,89			
Клас 3	401	1179	657	2464
	-0,31		0,20	

Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601