

УДК 528.854.4:519.254

## АВТОМАТИЗОВАНА КЛАСИФІКАЦІЯ АНТРОПОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗЙОМКИ ВИСОКОЇ РОЗРІЗНЕНОСТІ

С. А. Станкевич, д-р техн. наук; А. В. Васько, аспірант

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України  
st@casre.kiev.ua

*Викладено дворівневу модель та демонстраційний приклад автоматизованої класифікації антропогенних об'єктів за матеріалами аерозйомки високої розрізненості. Запропонована модель використовує статистичне злиття часткових класифікацій, що здійснюються за принципово різними розпізнавальними ознаками — спектральними та просторовими.*

**Ключові слова:** аерозйомка високої розрізненості, антропогенний об'єкт, статистична класифікація.

*The two-level model for automated classification of man-made objects by high-resolution airborne imaging is presented. Also the test data processing output is described. Proposed model based on fusion of partial classifications that performed using fundamentally distinct interpretation features — spectral and spatial ones.*

**Keywords:** high-resolution airborne imaging, man-made object, statistical classification.

### Вступ

Нині методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) широко використовуються для розв'язання різноманітних задач.

Світова практика вже сьогодні налічує приблизно 140 господарсько-економічних і спеціальних задач, що розв'язуються аерокосмічними засобами і методами ДЗЗ.

Спектр застосувань даних ДЗЗ безупинно розширяється і можна очікувати, що ця тенденція збережеться і в майбутньому.

Виділяють такі області застосування ДЗЗ: пошук корисних копалин та енергоносіїв, отримання інформації про стан навколишнього середовища і землекористування, оцінювання стану та урожайності сільськогосподарських угідь, вивчення екосистем та їх біорізноманіття, гідрографія, оцінювання наслідків стихійних лих (землетруси, повені, пожежі, епідемії, виверження вулканів), оцінка забруднень суші і водойм [1].

### Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку та впровадження інформаційних технологій у різних галузях народного господарства на одне з перших місць виходять завдання оперативного одержання достовірної інформації про стан земельних ресурсів, усебічного наукового обґрунтування та інформаційної підтримки управлінських рішень з планування їх ефективного використання.

З огляду на усе вищенаведене, треба зазначити, що для ефективного виконання поставлених завдань у сучасних умовах потрібно збирати і аналізувати значні обсяги інформації з високою періодичністю, що сьогодні можна виконати тільки з використанням інформації ДЗЗ та геоінформаційних технологій [2].

### Класифікація антропогенних об'єктів на аерознімках за допомогою спектральних ознак

У процесі інтерпретації знімків важливе значення мають дешифрувальні ознаки, тобто ті особливості зображення, які дають змогу його зіставити з тими чи іншими природними об'єктами.

Природно-антропогенні об'єкти на зображеннях мають прямі та непрямі дешифрувальні ознаки. До прямих ознак належать особливості зображення, що допомагають безпосередньо розпізнати природні чи антропогенні об'єкти. Наприклад, більшу частину антропогенних об'єктів виділяють за правильною геометричною формою [3]. Під непрямыми ознаками розуміють особливості зображень природних чи антропогенних об'єктів, що розкривають ці об'єкти та їх характеристики, які безпосередньо не простежуються на знімках.

Піксельна класифікація цифрових знімків полягає в тому, щоб на основі сигналів у різних спектральних діапазонах проаналізувати кожен піксел і віднести його до того чи іншого класу. Цей тип класифікації називають також розпізнаванням спектральних сигнатур. Результуюче зображення, по суті, є тематичною картою [5].

Для роботи зі спектральною інформацією часто вдаються до створення так званих «індексних» зображень.

На основі комбінації радіометричних значень у певних каналах зображення, інформативних для виділення досліджуваного об'єкта, і розрахунку за цими значеннями «спектрального індексу» будується зображення, яке відповідає значенню індексу в кожному пікселі, що дозволяє виділити досліджуваний об'єкт чи оцінити його стан.

Співвідношення цих значень одне до одного дозволяє чітко відділити одні об'єкти від інших. Використання ж не простого співвідношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиття збільшує точність вимірювання, дає змогу зменшити вплив таких явищ, як відмінність в освітленості знімку, хмарності, димки, поглинання атмосферою та інших.

Розвиток знімальної апаратури і методів обробки аерознімків потребує вдосконалення сучасних методів автоматичного аналізу інформації про об'єкти земної поверхні, зокрема, антропогенні.

Використання нормалізованих спектральних індексів дозволяє більш точно оцінювати характеристики природних та антропогенних об'єктів, рослинних екотопів, ніж за первинними даними спектрального відбиття. Одержані на основі нормалізованих спектральних індексів характеристики рослинності та інших об'єктів інтерпретують з урахуванням наземних даних, одержаних при конкретних польових дослідженнях [7].

Після того, як обчислено повний набір нормалізованих спектральних індексів багатоспектрального зображення, стає можливим провести його класифікацію за одним з відомих алгоритмів.

#### **Класифікація антропогенних об'єктів на аерознімках за допомогою просторових ознак**

На сьогодні можливості розпізнавати об'єктів на аерокосмічних зображеннях невпинно зростають. Але водночас висока просторова розрізненість викликає загальне збільшення варіативності при дешифруванні окремих тематичних шарів, і результуюча точність може падати [8].

Для реалізації повного потенціалу сучасних аерозображень з метою тематичної класифікації антропогенних об'єктів необхідно розробити і дослідити нові методи виявлення об'єктів.

Для зменшення негативних впливів, пов'язаних із спектральною неоднозначністю і просторовою складністю шарів багатоспектральних зображень доцільно використовувати метод об'єктно-орієнтованої класифікації.

Антропогенні об'єкти часто мають особливу форму, як правило — прямокутну. Тому для їх автоматичного виявлення та локалізації можна застосовувати прямі кути як важливу ознаку.

Для цього на основі об'єктно-орієнтованого підходу розроблено спеціальний алгоритм картування на зображенні кутів  $90^\circ$ , який виявляє однорідні сегменти заданої форми та орієнтації.

Алгоритм застосовує узагальнене перетворення Радона, основане на ймовірнісному перетворенні фрагменту цифрового зображення, що аналізується [9].

Ймовірнісне перетворення обчислює для кожної точки  $x$  фрагменту цифрового зображення ймовірність  $P_{12}(x, S_1, S_2)$  безпомилкового розділення обраних просторових сегментів  $S_1$  та  $S_2$ :

$$P_{12}(x, S_1, S_2) = 1 - P_1 \varepsilon_1(x, S_1) - P_2 \varepsilon_2(x, S_2), \quad (1)$$

де  $\varepsilon_1(x, S_1)$  та  $\varepsilon_2(x, S_2)$  — умовні ймовірності помилкової класифікації сегментів  $S_1$  та  $S_2$  у точці  $x$ ,  $P_1$  та  $P_2$  — апіорні ймовірності сегментів,  $P_1 + P_2 = 1$ .

Очевидно, що чим вище ця ймовірність, тим краще якість виділення сегментів. Крім того, ймовірнісне перетворення в неявній формі враховує вплив привнесених шумів цифрового знімку. І, нарешті, головною перевагою ймовірнісного перетворення є осмисленість вихідний величини (ймовірності), що знімає проблему вибору порога при виділенні сегментів: вони відбираються виходячи з необхідного рівня вірогідності.

Ймовірнісне перетворення легко узагальнюється на багатовимірні багатоспектральні знімки шляхом оцінювання ймовірності за багатовимірними розподілами густини ймовірності [10].

Для реалізації спеціального алгоритму виявлення та локалізації антропогенних об'єктів на багатоспектральних аерознімках багатовимірне ймовірнісне перетворення (1) адаптовано до реагування на прямі кути. Для цього використане геометричне перетворення Радона, налаштоване на просторові сектори  $90^\circ$  зображення. Параметрами сегментів, що аналізуються, при цьому виступають радіус  $r$  та кут орієнтації  $\varphi$  сектора:

$$\begin{cases} \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \leq r; \\ \varphi \leq \arctg \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \leq \varphi + \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

Співвідношення (2) однозначно визначає просторові сегменти  $S_1$  та  $S_2$  у точці  $x$  аерокосмічного зображення. Відтепер стає можливим розрахувати за (2) ймовірність наявності прямого кута  $P_{12}(x, S_1, S_2)$  у точці  $x$ .

Варіюючи параметрами  $r$  та  $\varphi$ , можна перетворити вхідне багатоспектральне зображення на одновимірний розподіл ймовірності  $P_{12}(r, \varphi)$  у площині цих параметрів, тобто одержати ймовірнісний аналог спеціального перетворення Радона, максимума якого відповідають кутам прямокутних сегментів вхідного багатоспектрального зображення.

### Класифікація антропогенних об'єктів на аерознімках за допомогою комплексної спектральної та просторової обробки

Отже, загальна логіка сумісної (комплексної) обробки багатоспектрального аерознімка з метою автоматизованого виявлення антропогенних об'єктів містить два потоки: обробка в спектральній і в просторовій області. Перший потік спрямовано на аналіз розпізнавальних ознак антропогенного об'єкта за повним набором нормалізованих спектральних індексів.

Другий — на об'єктно-орієнтовану класифікацію антропогенного об'єкта за геометричними ознаками. Обидва потоки формують відповідні проміжні ймовірнісні карти класів аерозображення, одержані за принципово різними розпізнавальними ознаками [6]. Для отримання прикінцевої класифікації виконується злиття

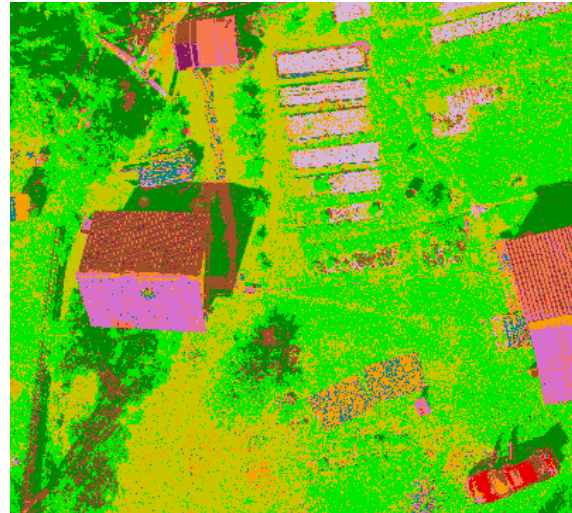
проміжних імовірностей класів. Завданням злиття результатів класифікації є відновлення спільної ймовірності (імовірностей) гіпотез про наявність антропогенних об'єктів на зображенні. Для цього в нашій роботі використовується байєсівський висновок, за допомогою якого виконується злиття проміжних імовірнісних карт на карту апостеріорної імовірності класів, а потім за принципом максимуму апостеріорної ймовірності — на прикінцеву класифікацію антропогенних об'єктів на аерознімку.

#### Демонстраційний приклад класифікації антропогенних об'єктів на аерознімках

Рисунок ілюструє можливість практичного застосування комплексної спектральної та просторової обробки до фрагменту реального аерознімка надвисокої розрізненності.



а — цифровий аерознімок БПЛА «Дозор-4» (Ленінградська обл., Росія), спектральні канали RGB, просторова розрізненість близько 2 см



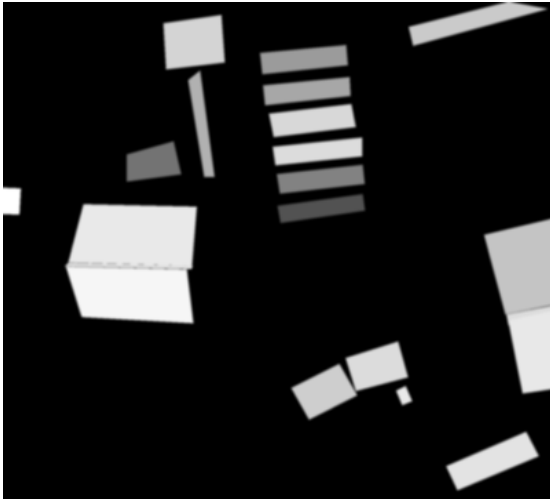
б — класифікація «сирих» спектральних сигнатур з навчанням за алгоритмом *Maximum Likelihood*, кількість класів 11, середня точність 83,84 %



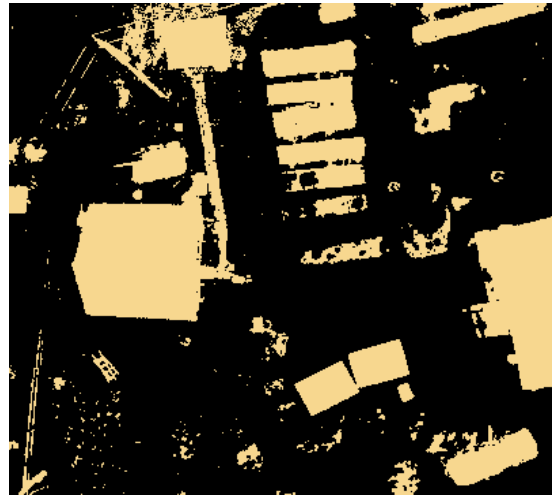
в — повний набір нормалізованих спектральних індексів аерознімка а), кількість індексів 3



г — класифікація нормалізованих спектральних індексів в) з навчанням за алгоритмом *Support Vector Machine*, кількість класів 12, середня точність 86,79 %



д — виявлення антропогенних об'єктів за допомогою спеціального просторово-ймовірнісного перетворення аерознімка а), кількість об'єктів 21, діапазон імовірності 0,3236...0,9985



е — виявлення антропогенних об'єктів за дворівневою моделлю класифікації, середня точність 91,18 %

Рис. 1. Приклад автоматизованої класифікації антропогенних об'єктів на цифровому аерознімку надвисокої розрізненості

### Висновки

Таким чином, за допомогою розробленої дворівневої моделі обробки [4] стає можливим одержувати додаткові розпізнавальні ознаки антропогенних об'єктів на багатоспектральних аерозображеннях і тим самим покращувати достовірність їх класифікації, за проведеними експериментами — на 5–9 %. Значним недоліком описаної моделі є дуже великий обсяг потрібних обчислень. Проте більшість залучених алгоритмів обробки добре піддається розпаралелюванню, що робить потенційно можливим їх реалізацію в перспективних автоматизованих системах цифрової обробки матеріалів аерозйомки високої просторової розрізненості [6].

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування* / за ред. В. І. Лялько та М. О. Попова. — К. : Наук. думка, 2006. — 360 с.
2. *Васько А. В.* Вимоги до оптико-електронної апаратури дистанційного зондування при створенні кадастру сільськогосподарських угідь / А. В. Васько // *Мат. IV Міжнар. наук. конф. молодих вчених «Геодезія, архітектура та будівництво 2011»*. — Л. : НУ «Львівська політехніка», 2011. — С. 188–191.
3. *Станкевич С. А.* Цифрова обробка багатоспектральних аерознімків для виявлення об'єктів / С. А. Станкевич, А. В. Васько // *Тези доп. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки»*. — К. : ДНДІА, 2010. — С. 103.
4. *Stankevich S. A.* Two-level model for land degradation mapping on multispectral satellite imagery // *Proceedings of the Eighth International Conference on Digital Technologies (DT'2011)* / S. A. Stankevich, A. V. Vasko, V. V. Gubkina. — Žilina : University of Žilina, 2011. — P. 289–293.
5. *Станкевич С. А.* Алгоритм робастної класифікації RGB та CIR аерознімків / С. А. Станкевич, А. В. Васько // *Зб. наук. пр. Державного науково-дослідного інституту авіації*. — К. : ДНДІА, 2010. — Вип. 13. — С. 108–113.
6. *Станкевич С. А.* Комплексна обробка багатоспектральних аерокосмічних зображень для виявлення сільськогосподарських угідь / С. А. Станкевич, А. В. Васько // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2011. — Вип. II(22). — С. 171–175.
7. *Кохан С. С.* Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур // *Космічна наука і технологія*, 2011 / С. С. Кохан. — Т. 17. — № 5. — С. 58–63.
8. *Станкевич С. А.* Технічні вимоги до уніфікованої оптико-електронної аерознімальної апаратури малих висот // *Тези доп. Ювілейної наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки»* / С. А. Станкевич, А. В. Васько, В. І. Ковтун. — К. : ДНДІА, 2011. — С. 101.
9. *Станкевич С. А.* Картування сільськогосподарських угідь на багатоспектральних аерокосмічних зображеннях за допомогою спеціальних просторових перетворень / С. А. Станкевич, А. В. Васько // *Тези доп. II Міжнар. наук.-практ. конф. «Математичні моделі і методи оптимізації інновацій та інформаційно-телекомунікаційно-моніторингові технології в задачах підвищення ефективності соціоекологоекономічних систем»*. — К. : Інститут економіки та менеджменту НАУ, 2010. — С. 72–75.
10. *Станкевич С. А.* Імовірнісно-частотна оцінка еквівалентної просторової розрізненості багатоспектральних аерокосмічних знімків / С. А. Станкевич // *Космічна наука і технологія*, 2006. — Т. 12. — № 2/3. — С. 79–82.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2012.