

## МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ СЕГМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ АЕРОКОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

УДК 623618:77 058

**КОВАЛЕНКО Тарас Васильович**

молодший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ,  
м. Київ, електронна пошта: tarasvkovalenko@gmail.com .

**Наукові інтереси:** інформаційні технології, цифрова обробка зображень,  
аерофотозйомка, сегментація зображень.

### ВСТУП

Дистанційне зондування Землі забезпечує унікальні можливості оперативного збору даних з високою просторовою, спектральною та тимчасовою роздільною здатністю, що визначає великі інформаційні можливості систем такого класу [1]. Автоматизована обробка зображень земної поверхні дозволяє ефективно вирішувати наукові та прикладні завдання в області картографії, дослідження природного середовища, океанології, пошуку й освоєння корисних копалин, сільського та лісового господарства та інших галузях. Наприклад, тематична класифікація ґрунтового та рослинного покриву за матеріалами аерокосмічної зйомки є необхідним етапом більшості завдань ландшафтно-екологічного картографування. Автоматичний аналіз зображень спостереження широко застосовується у системах дистанційного зондування при аналізі місцевості, у лісовому господарстві, наприклад, для автоматичного підрахунку площі вирубок, для спостереження за дозріванням урожаю, при розвідці, в системах протипожежної безпеки, проведенні повітряного моніторингу навколишнього середовища [2].

Повітряний моніторинг навколишнього середовища – це регулярні спостереження за заданою програмою природних середовищ, природних ресурсів, рослинного й тваринного світу, що дозволяють визначити їх стан і процеси, що в них відбуваються під впливом антропогенної діяльності. Об'єктом моніторингу є природні і

антропогенні екосистеми поверхні Землі, стан аерозольних і хмарних полів атмосфери [3].

Використання зображень аерокосмічного моніторингу у різних сферах діяльності людини ставить завдання не тільки створення засобів їх отримання, а й розробки і застосування нових методів та алгоритмів для комп'ютерної обробки зображень, приведення їх до вигляду, зручного для аналізу. Одним із завдань, що забезпечують видобування із зображень повітряного моніторингу корисної інформації, є завдання сегментації або виділення однорідних областей природних об'єктів (рис. 1).

Аерокосмічні зображення, отримані в результаті проведення повітряного моніторингу, в переважній більшості є сукупністю текстурних областей природного походження і штучних об'єктів. Текстуру в теорії обробки зображень називають структуру, яка характеризується наявністю повторюваного «малюнка», що складається з деяких однорідних ділянок приблизно однакових розмірів. Прикладом текстурного зображення є фотознімок цегляної стіни, міських кварталів, космічне зображення ділянки річної тундри із численними круглими озерами. Іншими словами текстура – це певним чином організована ділянка поверхні, що складається з елементарних ділянок, що характеризуються певними ознаками. Вони пов'язані один з одним деяким зв'язком, параметри якого постійні і визначають характер даної текстури [4].

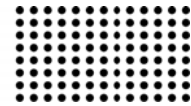
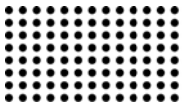


Рис. 1. Зображення, що містять природні об'єкти

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ПОВІТРЯНО-ГО МОНІТОРИНГУ

Однією з найбільш складних і актуальних проблем комп'ютерної обробки зображень є вирішення задачі сегментації таких текстурних областей зображення, як

природні об'єкти, зокрема областей рослинності, які займають значну частину аерофотозйомки (рис. 2). Текстурні області природних об'єктів, що розглядаються в статті, належать до класу так званих нерегулярних текстур (рис. 2, 3).

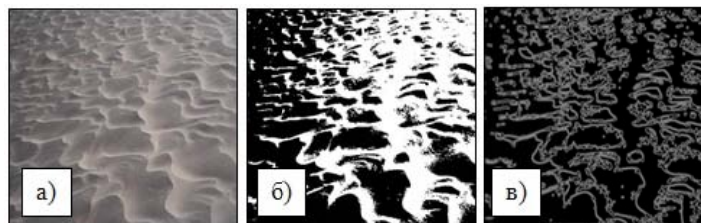


Рис. 2. Зображення піщаної поверхні: а) - зображення піщаної поверхні; б) - бінаризоване зображення піщаної поверхні; в) - текстура зображення піщаної поверхні.

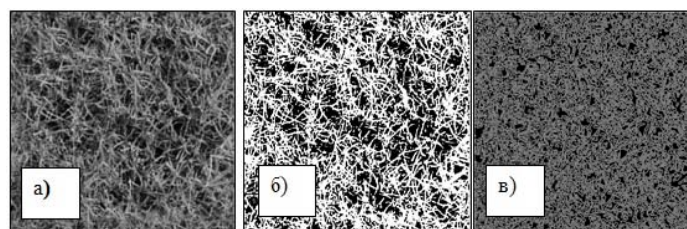


Рис. 3. Зображення трав'яної поверхні: а) - зображення трав'яної поверхні; б) - бінаризоване зображення трав'яної поверхні; в) - текстура зображення трав'яної поверхні.

До основних завдань аналізу текстурних областей відносяться: вибір і формування ознак, що описують текстурні відмінності; виділення і сегментація текстур-

них областей; класифікація текстурних областей; ідентифікація об'єкта за текстурою. Для виділення текстурних областей вирішується завдання сегментації

текстури, яке полягає у розбитті зображення на області з постійною текстурою, тобто виділення областей, в межах яких значення тих чи інших текстурних ознак відносно постійні. Сегментація є найбільш критичною процедурою процесу автоматизації аналізу зображень, оскільки її результати впливають в подальшому на всі наступні дії, пов'язані з аналізом зображення: уявлення виділених об'єктів та їх текстовий опис, вимір ознак, а також інші завдання більш високого рівня [5]. Після сегментації необхідне рішення задачі розпізнавання текстури - віднесення сегментованої ділянки текстури до якого-небудь класу, наприклад, «ліс», «поле», іншими словами, ідентифікація текстурної області.

В даний час існує великий досвід автоматизованої обробки і аналізу цифрових зображень. Частина автоматизованих методів реалізована і успішно застосовується в процесі інтерактивного дешифрування аероко-смічної інформації. Автоматизація обробки текстурних зображень є складним методичним і трудомістким обчислювальним процесом, що перешкоджає розробці універсального методу їх розпізнавання [6].

У теорію і практику обробки та розпізнавання текстурних зображень значний внесок внесли Haralick, Gonzalez, Rosenfeld, Shapiro, Hawkins, Zhang J. та ін. Проте, в даний час не створено теоретичних основ і алгоритмічних рішень в області обробки текстурних зображень, які б задовольняли вимогам практики. Іншими словами, під будь-який вид текстурного зображення можна підібрати метод розпізнавання, який, при якісному налаштуванні, видаватиме практично стовідсотковий результат, тоді як на іншому вигляді текстурного зображення цей метод працювати не буде.

Застосовувані в даний час технології обробки аерофотознімків не забезпечують отримання результатів витягу корисної інформації з заданими вимогами точності і достовірності, пов'язані з додатковими витратами фотоматеріалів, відрізняються низькою продуктивністю, і крім того не відповідає сучасному рівню управління технологічними процесами. В першу чергу це пов'язано зі складністю розробки універсальних алгоритмів автоматичного аналізу аерофотознімків. Таким чином, незважаючи на присутність в зображеннях і важливість текстур, формального підходу до опису текстури, її визначення поки не існує, тому методи

розрізнення текстур, як правило, розробляються окремо для кожного конкретного випадку [7].

Аналіз ряду зображень повітряного моніторингу показав, що кожен знімок місцевості характеризується наявністю на ньому кількох видів текстурних областей - ліси, трави, поля і т.д. Текстури фрагменти рослинності можна розділити на два основних типи - візуально відмінні один від одного за кольором і структурі і візуально близькі за значеннями кольору і структурі. Такі фрагменти відносять до одного класу текстурних зображень, наприклад, «ліс», «трава», і т.п., які в межах одного класу є близькими за своїми характеристиками. Виходячи з цього, актуальним завданням є розробка методів сегментації текстур областей, візуально близьких за значеннями кольору і структурі.

Оперативність повітряного моніторингу полягає в скороченні до мінімуму часу з моменту отримання завдання на моніторинг до представлення отриманих даних на наземну станцію. Матеріали дистанційного зондування отримують в результаті неконтактної зйомки з літальних повітряних і космічних апаратів, судів і підводних човнів, наземних станцій. Отримувані документи різноманітні за масштабом, вирішення, геометричним, спектральним і іншим властивостям. Все залежить від виду і висоти зйомки, застосовуваної апаратури, а також від природних особливостей місцевості, атмосферних умов і т.п. Моніторинг передбачає не тільки спостереження за процесом або явищем, але також його оцінку, прогноз поширення та розвитку, а крім того - розробку системи заходів щодо запобігання небезпечних наслідків або підтримання сприятливих тенденцій.

### **РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПОВІТРЯНОГО МОНІТОРИНГУ**

Надійність інформації, одержуваної в результаті повітряного моніторингу найбільшою мірою залежить від декількох факторів, основні з яких - властивості досліджуваних об'єктів і кваліфікація виконавця [8]. Достовірність локалізації і розпізнавання на знімку природних об'єктів у вирішальній мірі обумовлена їх спектральними властивостями, виразністю кордонів, ступенем мінливості, а також наявністю стійких взаємозв'язків з іншими об'єктами. Кваліфікація виконавця передбачає, що крім базової природознав-

чої підготовки він повинен володіти знанням теоретичних основ дистанційного зондування, досвідом дешифрування і володіти сучасними інформаційними технологіями.

Оцінка достовірності результатів сегментації і локалізації аерофотознімків повітряного моніторингу - заключний етап обробки зображень, який незалежно від застосованого способу визначає можливість використання результатів моніторингу. Залежно від способу обробки зображень повітряного моніторингу оцінка ефективності включає розрахунок і оцінку таких критеріїв, як достовірність, повнота і точність отриманої інформації. Достовірність інформації, що витягується з матеріалів повітряного моніторингу, оцінюється достовірністю дешифрування або достовірністю класифікації. Під достовірністю дешифрування розуміють ймовірність правильного розпізнавання об'єктів  $P_d$ . Вона являє собою відношення кількості правильно розпізнаних об'єктів ( $J_1$ ) до суми всіх розпізнаних ( $J$ ):

$$P_d = \frac{J_1}{J} \quad (1)$$

Достовірність класифікації спочатку оцінюють візуально, виявляючи грубі помилки, якщо вони присутні. Потім переходять до кількісної оцінки по набору контрольних ділянок, в межах яких класифіковане зображення порівнюється з незалежними даними - результатами наземних спостережень, архівними матеріалами і т.д. Це дозволяє виявити другорядні помилки і неточності. Якщо кількість помилок класифікації перевищує встановлені для даного завдання межі, відбувається повернення до поліпшення навчальних вибірок, потім повторюється класифікація та оцінка її якості. Цей процес часто відбувається через кілька ітерацій, перш ніж досягається результат необхідної достовірності.

Показники, що характеризують достовірність класифікації, представляють у вигляді матриці помилок, яку розраховують за контрольними ділянками (що не збігається з еталонними ділянками, які використовувались для створення навчальних вибірок). По одному входу матриці вказують класи, встановлені по наземним або еталонним даним, а по іншому - отримані в результаті класифікації за знімком. На перетині рядків і

стовпців записують кількість пікселів. Таким чином, на діагоналі матриці виявляється кількість пікселів, класифікованих коректно, а поза діагоналю - кількість пікселів, що потрапили в помилкові класи.

Шляхом побудови матриці помилок розраховують ряд показників достовірності класифікації: помилки комісії (кількість пікселів, що помилково не потрапили в даний клас); помилки комісії (кількість пікселів, помилково приєднаних до даного класу); достовірність класифікації (відсоток правильно класифікованих пікселів від загальної кількості перевірених пікселів).

У таблиці, загальна кількість пікселів на діагоналі матриці дорівнює 350 з 410, тому достовірність класифікації в цілому становить  $(350/410) * 100\% = 85,4\%$ . Для оцінки загальної достовірності класифікації використовуємо коефіцієнт «каппа»,  $\chi$  (2):

$$\chi = \frac{N \sum_{i=1}^n \chi_{ij} - \sum_{i=1}^r \chi_{i+} * \chi_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r \chi_{i+} * \chi_{+i}} \quad (2)$$

де  $\chi_{ij}$  - діагональні елементи матриці помилок;  $\chi_{i+}$  - сумарна кількість пікселів в рядку;  $\chi_{+i}$  - сумарна кількість пікселів в стовпці;  $N$  - загальна кількість пікселів в матриці;  $n$  - кількість класів. Для таблиці сума елементів  $\chi_{ij}$  - дорівнює 350, а сума добутоків  $\chi_{i+} * \chi_{+i}$  дорівнює 28820. Таким чином,  $\chi = (410 * 350 - 28820) / (168100 - 28820) = 144680 / 139280 = 0,82$ .

Нульове значення коефіцієнта означає нульову відповідність класифікованих об'єктів еталонним, а значення 1,0 - повну відповідність між результатами класифікації і еталонними даними. Якість класифікації вважається прийнятною, якщо  $\chi < 0,75$ , і непринятною, якщо  $\chi < 0,4$ . Однак, це лише приблизні оцінки. Отримані значення показників залежать від методу вибору контрольних ділянок на знімку і якості наземних даних. Для підвищення точності оцінки доцільно випробувати декілька різних наборів ділянок. За значенням  $\chi$  можна прямо порівнювати результати роботи різних алгоритмів для одного і того ж набору контрольних ділянок на знімку. Для проведення порівняльного аналізу методів сегментації застосовуються критерії

рії, засновані на обчисленні показника відмінності між результатом сегментації, отриманим за допомогою алгоритму, і сегментом, побудованим експертом на основі візуального аналізу зображення. Оцінюється

якість сегментації заданих областей, а не всього зображення. Необхідно відзначити, що присутність експерта обумовлює можливість впливу людського фактора на результат порівняльного аналізу.

Таблиця.

**Матриця помилок класифікації для шести класів.**

Класи, отримані по наземним даними	Класи, отримані при класифікації, і кількість віднесених до них пікселів						Кількість контрольних даних	Достовірність виділення класу	Помилка комісії, піксель	Помилка комісії, піксель
	1	2	3	4	5	6				
1	50	3	0	0	2	5	60	83,3	10	21
2	4	62	3	0	0	1	70	88,5	8	10
3	4	4	70	0	8	3	89	81,4	19	6
4	0	0	0	64	0	0	64	100,0	0	3
5	3	0	2	0	71	1	77	92,2	6	10
6	10	3	1	3	0	33	50	66,0	17	10
Всього по стовпцю	71	72	76	67	81	43	410		60	60

Оцінка точності сегментації областей зображення. Точність сегментації - кількісна оцінка коректності сегментації. Залежно від типу характеристик якості виділення кордонів, заходи відмінності методів контурної сегментації поділяють на показники оцінки якості виділення кордонів і показники оцінки локалізації. До них відносяться такі показники, як помилки першого і другого роду, специфічність і чутливість. Нехай  $O$  - загальна кількість пікселів області що сегментується, які не є граничними,  $G$  - загальна кількість граничних пікселів,  $A$  - кількість помилково виділених граничних пікселів,  $B$  - кількість невиділених граничних пікселів,  $C$  - кількість виділених неграничних пікселів,  $D$  - кількість правильно виділених граничних пікселів,  $\alpha$  - помилка першого роду,  $\beta$  - помилка другого роду,  $\eta$  - специфічність,  $\mu$  - чутливість.

Помилка першого роду - відношення помилково виділених граничних пікселів до загальної кількості пікселів, які не є граничними (3):

$$\alpha = \frac{A}{O} \quad (3)$$

Помилка другого роду визначається як відношення невиділених граничних пікселів до загальної кількості граничних пікселів (4) [9]:

$$\beta = \frac{B}{G} \quad (4)$$

Специфічність - ставлення виділення не граничних пікселів до загального числа не граничних пікселів області що сегментується (5):

$$\eta = \frac{C}{O} \quad (5)$$

Чутливість - відношення правильно виділених граничних пікселів до загальної кількості граничних пікселів області (6):

$$\mu = \frac{D}{G} \quad (6)$$

Величини  $\alpha$  і  $\beta$  є помилками, їх значення повинні прагнути до мінімуму. Величини  $\eta$  і  $\mu$  є кількісними характеристиками правильності побудови контуру, їх значення повинні прагнути до максимуму. В [10] описані наступні критерії оцінки якості сегментації. Показник надмірної сегментації:

$$FPR = \frac{S_1 \cap S_2^c}{S_1 \cup S_2} \quad (7)$$

а показники недостатньої сегментації

$$FNR = \frac{S_1^c \cap S_2}{S_1 \cup S_2}, \quad (8)$$

де  $S_1$  - результат сегментації, отриманий за допомогою одного з методів сегментації,  $S_2$  - сегмент, побудований експертом,  $S_1^c$  - контур сегмента, отриманий за допомогою одного з методів сегментації,  $S_2^c$  - побудований експертом контур сегмента. Загальна помилка сегментації (9):

$$MA = FPR + FNR \quad (9)$$

Оцінка якості сегментації оцінюється загальною помилкою сегментації. Чим менше помилка сегментації, тим вище якість методу сегментації.

## ВИСНОВКИ

Достовірність комп'ютерного дешифрування формально характеризується відношенням числа правильно класифікованих пікселів до їх загальної кількості і становить у середньому 70 - 85%, помітно падаючи зі збільшенням набору об'єктів що дешифруються. Проведений аналіз довів, що достовірності локалізації у 90 - 95% можна домогтися для 2-3 класів. Задовільними вважаються результати, якщо правильно визначено 70 - 85% локалізованих об'єктів. Запропонований у статті метод оцінки якості сегментації на основі сукупності і показників точності й достовірності локалізованих даних дозволяє розробити ефективну інформаційну технологію автоматизованої обробки і аналізу зображень у системах аерокосмічного моніторингу.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Chittooru J. Edge detection and segmentation for machine vision / Chittooru J., Munasinghe R., Davari A. // Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory. - 2005. - P. 457 - 461.
2. D'yakonova SV Analiz metodov segmentatsii sputnikovykh izobrazheniy / SV D'yakonova, YU.P. Zaychenko // Visnik NTUU «KPI» Informatika, upravlinnya ta obchislyval'na tekhnika № 57. - S. 118-123.
3. Ruban IV Model 'predstavleniya i obrabotki izobrazheniy v sistemakh tselenapravlennoho poiska ob "yektov / IV Ruban // Zb. Nauk. Prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil. - KH. : KHUPS. - 2007. - Vip. 4. - S. 35-39.
4. Vizil'ter YU.V. Obrabotka i analiz izobrazheniy v zadachakh mashinnogo zreniya: kurs lektsiy i prakticheskikh zanyatyiy / YU.V. Vizil'ter, S.YU. Zheltov i dr. - M. : Fizmatkniga, 2010. - 672 s.
5. Shapiro L. Komp'yuternoye zreniye / L. Shapiro, Dzh. Stokman. - M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2006. - 752 s.
6. Protasov AP Neparаметрический алгоритм распознавания об "yektov podstilayushchey poverkhnosti zemli po dannym aerokosmicheskoy s" yemki / AP Protasov, AI Ryumkin // Vestnik tomского gosudarstvennogo universiteta: Sibgeoinformatika, vyp. 275, 2002. - s. 43 - 46.
7. Shovengerdt RA Distantionnoye zondirovaniye. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy. / RA Shovengerdt. - M. : Tekhnosfera, 2010. - 560 s.
8. Yefremov LV Veroyatnostnaya otsenka metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniy: algoritmy i programmy / LV Yefremov. - SPb. : Nestor-Istoriya, 2011. - 200 s.
9. Smelyakov KS Modeli i metody segmentatsii granits izobrazheniy neregulyarnogo vida na osnove adaptivnykh masok: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 09.03.05 / Smelyakov Kirill Sergeyevich - Khar'kov, 2005.- 162 s.
10. Chandra AM Distantionnoye zondirovaniye i geograficheskiye informatsionnyye sistemy / AMChandra, SK Gosh. - M. : Tekhnosfera, 2008. - 312 s.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Каргін А.О.  
завідувач кафедри інформаційних технологій  
Українського державного університету  
залізничного транспорту (УкрДУЗТ)