

КОНТУРНА СЕГМЕНТАЦІЯ ЦИФРОВИХ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ З ВИДІЛЕННЯМ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. У роботі запропонований новий метод сегментації цифрових супутникових знімків, що дозволяє виділити контури об'єктів інтересу. Запропонований метод базується на використанні точкових характеристик супутникових зображень на основі вейвлет-перетворення. Запропонований метод контурної сегментації був протестований на восьми-канальних зображеннях, отриманих супутником WorldView-3. Порівняння кількісних показників, а також візуальні результати показали перевагу використання запропонованого методу. Результати роботи можуть бути використані при подальшому розпізнаванні об'єктів та тематичній обробці супутникових знімків.

Ключові слова: супутникові знімки, пакетне вейвлет-перетворення, сегментація, текстурна характеристика.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день супутникові цифрові знімки високого просторового розрізнення використовуються для вирішення різних задач, таких як моніторинг стану ґрунту, водойм, рослинності, виявлення вогнищ лісових пожеж; моніторинг і оцінка ефективності лісовідновної діяльності; контроль природокористування (вирубки лісу, будівництво кар'єрів, незаконні звалища та ін.); створення геокарт; моніторинг будівельних об'єктів, тощо [1-3]. Автоматичне розпізнавання об'єктів на супутникових цифрових зображеннях високого просторового розрізнення є актуальним для вирішення задачі автоматичної інтерпретації даних, одержуваних з систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Часто, навіть для порівняно легко помітних при візуальному аналізі об'єктів, буває важко побудувати формалізований алгоритм комп'ютерної обробки зображень з метою автоматичного розпізнавання заданих утворень. Одним з основних етапів аналізу цифрових зображень за допомогою автоматизованих систем є сегментація. Сегментація – це процес поділу зображення на непересічні області у вигляді сегментів на основі однорідності

(схожості) їх характеристик. При аналізі супутникових зображень високого просторового розрізнення значна частина інформації міститься в просторових характеристиках (текстурі, формі, розмірах, ін.). Крім того, необхідно враховувати апріорну інформацію досліджуваного об'єкту. Існуючі методи сегментації супутникових зображень мають ряд недоліків, основним з яких є поява неоднорідності спектральних характеристик та роздробленості об'єктів, що суттєво ускладнює подальшу тематичну обробку даних. Проведені дослідження підтвердили необхідність розробки більш ефективного методу контурної сегментації зображень високого просторового розрізнення з урахуванням спектральних та просторових ознак, апріорних і експертних відомостей.

Аналіз останніх досліджень. В даний час для вирішення задачі сегментації зображень розроблено велику кількість методів та присвячено велику кількість робіт. Дана задача залишається однією з фундаментальних проблем аналізу інформації ДЗЗ. Існуючі методи сегментації можна розділити на використання кольорового простору, виділення контурів, текстурні та комбіновані методи. В роботах [4,5] запропоновано ефективний алгоритм виділення контурів зображення, що використовує переваги масштабованості оптимізації модульності і внутрішніх властивостей зображення. Це дозволило виділити об'єкти за різними кольоровими складовими. Перевагою контурних методів є низька трудомісткість і стійкість до незначних варіацій яскравості і контрастності зображень. На практиці застосування контурних методів можливо тільки для виділення протяжних об'єктів (наприклад, русла річок, дороги, ін.), оскільки їх контури менш схильні до спотворень. Тому ці методи мають обмежену область застосування для сегментації даних ДЗЗ. Роботи [6,7] присвячені текстурній сегментації з виділенням граничних точок однорідних областей. Основним їхнім недоліком є вибір початкових пікселів та низька стійкість в умовах низької контрастності зображень. В роботах [8-10] запропоновано один з підходів для розв'язання цієї наукової проблеми з використанням вейвлет-перетворення, що забезпечує деталізацію об'єктів (залежність локальних екстремумів інтенсивності зображення як від кольорових складових так і від геометричних розмірів об'єкта на зображенні). Але існуючі дослідження не враховують властивості самоподібності і самоафінності природних об'єктів, інформацію про форму об'єктів та особливості їх спектральних характеристик.

Метою даної роботи є розробка методу контурної сегментації супутникових знімків з врахуванням спектральних та просторових ознак на основі вейвлет-перетворення.

Виклад основного матеріалу. На основі проведених досліджень [11,12], в даній роботі пропонується метод контурної сегментації зображень з використанням точкових характеристик [13] даних на основі пакетної побудови вейвлет-базисів з декореляцією первинних видових даних. Схема методу представлена на рис. 1. Реалізація цього методу наступна:

1. Завантажуємо багатоспектральне зображення MS .

2. На MS виділяються точки (x_i, y_i) , які є особливими на основі вейвлет-перетворення [10, 14]. Ці точки об'єднуються в область Q , тобто $(x_i, y_i) \in Q$.

$$P_j(x_j, y_j) = \sqrt{W_\psi^H(j, x_j, y_j))^2 + (W_\psi^V(j, x_j, y_j))^2 + (W_\psi^D(j, x_j, y_j))^2}, \quad (1)$$

де $P_j(x_j, y_j)$ – власна вага точки на j -ому рівні деталізації, $W_\psi^H(j, x_j, y_j)$, $W_\psi^V(j, x_j, y_j)$, $W_\psi^D(j, x_j, y_j)$, – горизонтальний, вертикальний, діагональний коефіцієнти j -ого вейвлет-рівня відповідно.

3. Всі точки, які не належать області Q , розглядаються як фон, $(x_i, y_i) \notin Q$ & $(x_i, y_i) \in I \Rightarrow (x_j, y_j) \in \bar{Q}$.

4. Якщо в області Q знайти деякі області, виділені точками, які належать області \bar{Q} , то такі точки можна об'єднати в області і вважати сегментами на фоні:

$$MS = (\bigcup_{i=1}^m S) \cup \bar{Q}, \quad (2)$$

де S – область, яка містить точки $(x_j, y_j) \in \bar{Q}$, замкнутими точками $(x_i, y_i) \in Q$, а \bar{Q} – незамкнута частина фону, що залишилась та містить точки $(x_j, y_j) \in \bar{Q}$.

5. Якщо фон представити як деяку нульову область, то зображення буде представлено як [14]:

$$MS = (\bigcup_{i=1}^m S) \cup S_0, \quad (3)$$

де $MS = \bigcup_{i=0}^m S$ – являє собою задачу сегментації в загальному випадку.

Для вирішення практичних задач важливим є як знаходження областей Q , \bar{Q} , так і S . Точки, які належать області Q , можуть розглядати всі області зображення. Точки $(x_j, y_j) \in \bar{Q}$ можуть розглядатись як – фон або основа зображення, статична частина, якої залишається незмінною. Точки області S можуть розглядатись як різні сегменти зображення для подальшого аналізу.

6. Останнім етапом є виділення компонентів зв'язності, який заснований на класичному пошуку зв'язних компонентів на графах. Обробка зображення містить два етапи. На першому етапі визначаються класи еквівалентнос-

ті і присвоюються тимчасові точки. На другому етапі кожна тимчасова точка замінюється точкою відповідного класу еквівалентності:

$$E = \lambda \cdot R(\bar{Q}) + B(S), \quad (4)$$

де $R(\bar{Q})$ – характеристики областей сегментів, $B(S)$ – характеристики контурів сегментів.

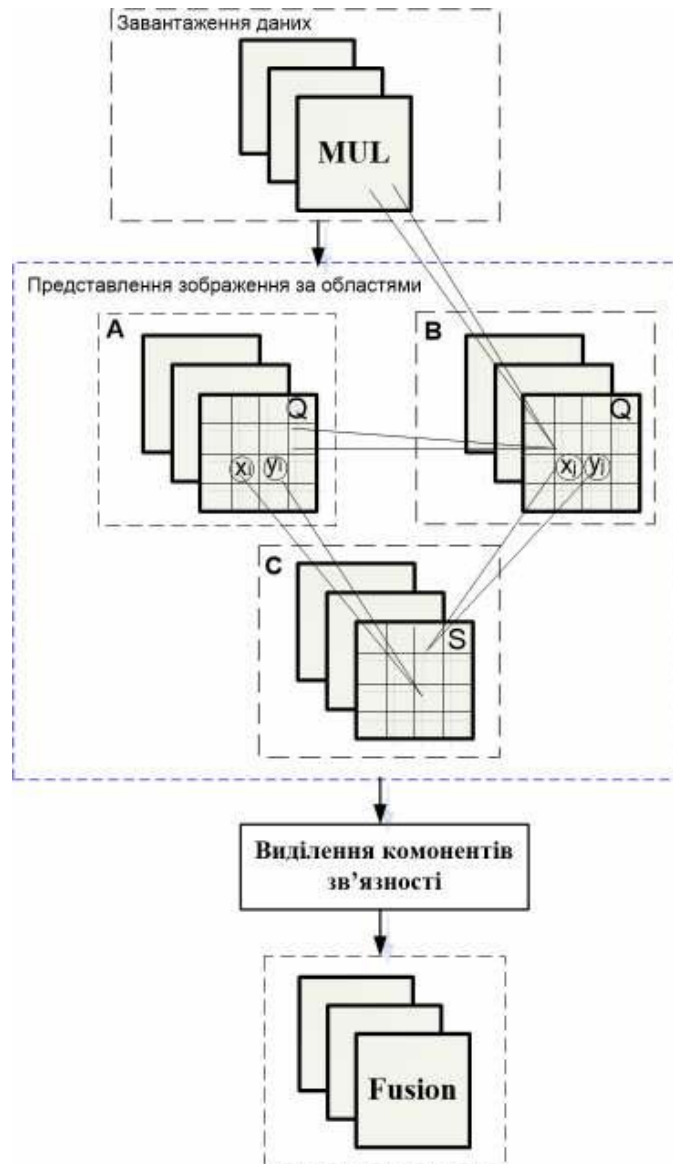


Рисунок 1 - Схема методу сегментації

Дані представлені у вигляді бінарної таблиці для визначення класів еквівалентності та для зберігання непересічних множин. В якості базової структури даних використовується масив, індекси якого утворюють безліч можливих точок, а значення елементів є точки батьківських вузлів. При цьому значення 0 в елементах масиву означає, що у відповідних вузлах немає батьківського вузла.

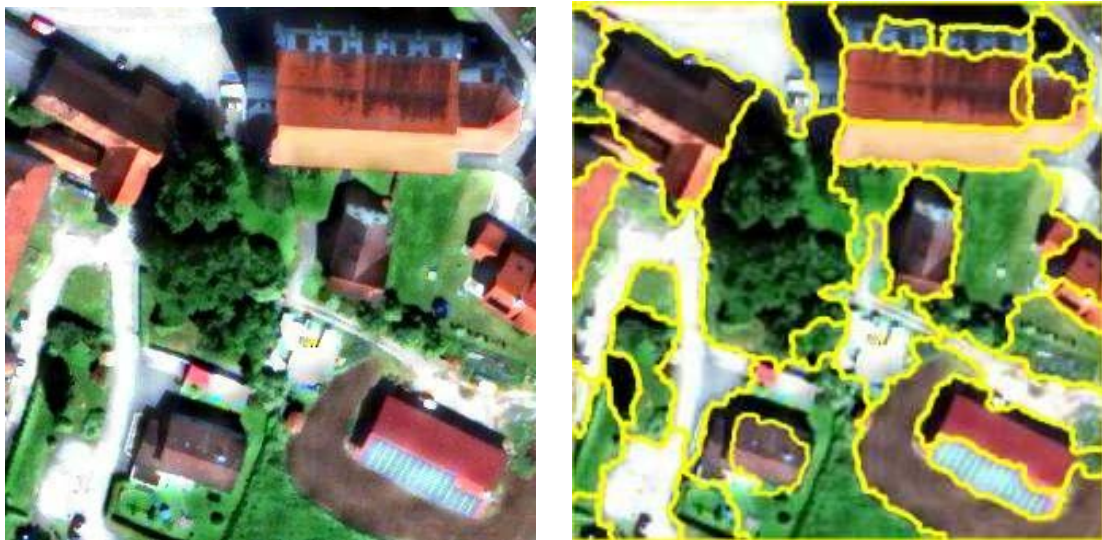
Якщо при виділенні пікселя з'ясовується, що йому вже було присвоєно точку, і значення цієї точки менше ніж значення первинної, то здійснюється заміна на значення меншої точки. В результаті цього алгоритм виявляє ситуацію, при якій дві області зливаються в одну. У цьому випадку здійснюється прохід по всіх елементах області з виділення граничної ваги точок та приєднання до області з меншим значенням ваги точок [14]:

$$K = 1 + \max_{x \in Q} \sum_{y: \{x,y\} \in N} u_{\{x,y\}}, \quad (5)$$

де u – вага точки, N – система зв'язності.

При динамічному об'єднанні суміжних областей алгоритму вдається виділити зображення всього за один прохід, при цьому зберігає координати пікселів зображення, що входять в дану область.

Запропонований метод був протестований на супутникових зображеннях Worldview-3 з просторовим розрізненням: 0,31 – в панхромному режимі, 1,24 м – в багатоспектральному режимі, 3,7 – в інфрачервоному діапазоні. На рисунку 2а представлено фрагмент багатоспектрального зображення з вибором у якості окремих R-, G-, B-компонент, що містить об'єкти місцевості. На рисунку 2б подано фрагмент багатоспектрального зображення після обробки запропонованим у роботі методом контурної сегментації даних. Візуальний аналіз одержаних результатів дозволяє виділити контури об'єктів на супутниковому зображенні, що є близьким до еталонного зображення.



а) первинне

б) після обробки

Рисунок 2 - Фрагменти зображень

Для кількісної оцінки якості контурної сегментації зображень за запропонованим методом у даній роботі використовуються наступні критерії:

1. Критерій FOM (Figure of Merit), відповідає емпіричній відстані між зображенням після істинної сегментації $I_t=t_1,...,t_m$ і зображенням після сегментації досліджуваної $I_s=s_1,...,s_n$ [4]:

$$FOM(I_t, I_s) = \frac{1}{\max(m, n)} \sum_{i=1}^{card(I_s)} \frac{1}{1 + d^2(t_i, s_i)}, \quad (6)$$

де m, n – кількість пікселів в множинах I_s, I_t і відповідно, $d(i)$ – відстань між i -м пікселем I_s і найближчим до нього пікселем в I_t , який обчислюється як:

$$d(t_i, s_i) = \min_{s \in I_s} \|t_i - s_i\|. \quad (7)$$

2. При порівнянні двох зображень пропонується також використовувати середньоквадратичну помилку (критерій RMSE - root-mean-square error), яка обчислює відстань між двома точками:

$$RMSE = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2}, \quad (8)$$

де x_i, y_i - початкові координати, x_r, y_r - кінцеві координати.

Зображення ідеальної сегментації формується шляхом віднімання від вхідного зображення відповідного йому фоновому зображення. Результат сегментації представлений в таблиці 1.

Таблица 1

Результати оцінки методу сегментації за допомогою різних критеріїв

Кількісні показники	Похибка сегментації, %	Правильна сегментація, %
FOM	4	96
RMS	17	83

Висновки. У роботі вирішено актуальну задачу автоматизованого виділення контурів об'єктів на цифрових супутникових знімках. Наукова новизна роботи полягає у розробці нового методу контурної сегментації цифрових супутникових знімків з використанням їх спектральних та просторових характеристик, що дозволяє більш точно виділяти контури об'єктів інтересу. У порівнянні з існуючими методами сегментації запропонований метод дозволяє уникнути істотних колірних спотворень та підвищити якість спектрально-текстурної сегментації. Це досягається, зокрема, за рахунок виділення на зображенні особливих точок з різною граничною вагою на основі вейвлет-перетворення та оброблення даних у локалізованих спектральних базисах.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблене програмне забезпечення, яке реалізує запропонований метод, забезпечує

виділення контурів при невеликих значеннях відношення сигнал-шум еталонного зображення та деталізацію об'єктів на зображенні.

Тестування запропонованого методу підтвердило його високу ефективність при обробці цифрових супутникових знімків, як попередній етап розпізнавання складних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hnatushenko V.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev V.V., Kavats O.O. "Satellite monitoring of consequences of illegal extraction of amber in Ukraine". Scientific bulletin of National Mining University. Dnipro, 2017. № 2 (158), pp. 99-105.
2. Hnatushenko V.V., Hnatushenko Vik.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev, V.V. "Satellite technology of the forest fires effects monitoring". Scientific Bulletin of National Mining University, 2016. Issue 1 (151), pp. 70-76.
3. Hnatushenko V.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev V.V. "Satellite monitoring of deforestation as a result of mining". Scientific Bulletin of National Mining University, Dnipro, 2017. Issue 5 (161), pp. 94-99.
4. Swami, D. Super-pixel and Neighborhood based contour detection / D. Swami, B. Chaurasia // J. Comp. & Math. Sci. – 2017. – Vol. 8(6). – P. 226-234.
5. Verma, S. An increased modularity based contour detection / S. Verma, A. Chugh // International Journal of Computer Applications. – 2016. – Vol. 135(12). – P.41-44.
6. Borne, F. Texture-based classification for characterizing regions on remote sensing images / F. Borne, G. Viennois // Journal of Applied Remote Sensing. – 2017. – Vol. 11(3).
7. Hemalatha, S. Unsupervised segmentation of remote sensing images using FD based texture analysis model and ISODATA / S. Hemalatha, S.M. Anuncia // International Journal of Ambient Computing and Intelligence. – 2017. – Vol. 8(3). – P. 58-75.
8. Sharon A. Fast Multi-Scale Image Segmentation / A. Sharon, A. Brandt, R. Basri // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S.l.], 2000. Vol. 1. - P. 77 - 79.
9. Sumengen B. Multi-Scale Edge Detection and Image Segmentation // B. Sumengen, B. S. Manjunath // Proceedings of European Signal Processing Conference.- [S.l.], 2005. - P. 102 - 107.
10. Kumar R. Automatic Image Segmentation using Wavelets / R. Kumar, Venugopal, Patnaik // International Journal of Computer Science and Network Security. February 2009. Vol. 9, №.2. - P. 75 - 81.

11. Hnatushenko V.V. Pansharpening technology of high resolution multispectral and panchromatic satellite images / V.V. Hnatushenko, Vik.V. Hnatushenko, O.O. Kavats, V.Yu. Shevchenko // Науковий вісник НГУ, 2015, № 4 (148). - p. 91-98.

12. Kahtan V.Yu. Processing technology of multispectral remote sensing images [Electronic recourse] / V.Yu. Kahtan, V. V. Hnatushenko, Y. I. Shedlovska // International Young Scientists Forum on Applied Physics. 2017. October, 16 – 20, Lviv, Ukraine: Proceedings. Lviv, 2017. – p. 355-358.

13. Каштан В.Ю. Технологія розпізнавання об'єктів на цифрових супутникових зображень / В.Ю. Каштан, В.В. Гнатушенко // Тези доповідей на II Всеукраїнській науково-практичній конференції MEICS-2017 Дніпро, 2017 р.–с.16-17.

14. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс. Р. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.

REFERENCES

1. Hnatushenko V.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev V.V., Kavats O.O. "Satellite monitoring of consequences of illegal extraction of amber in Ukraine". Scientific bulletin of National Mining University. Dnipro, 2017. № 2 (158), pp. 99-105.

2. Hnatushenko V.V., Hnatushenko Vik.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev, V.V. "Satellite technology of the forest fires effects monitoring". Scientific Bulletin of National Mining University, 2016. Issue 1 (151), pp. 70-76.

3. Hnatushenko V.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev V.V. "Satellite monitoring of deforestation as a result of mining". Scientific Bulletin of National Mining University, Dnipro, 2017. Issue 5 (161), pp. 94-99.

4. Swami, D. Super-pixel and Neighborhood based contour detection / D. Swami, B. Chaurasia // J. Comp. & Math. Sci. – 2017. – Vol. 8(6). – P. 226-234.

5. Verma, S. An increased modularity based contour detection / S. Verma, A. Chugh // International Journal of Computer Applications. – 2016. – Vol. 135(12). – P.41-44.

6. Borne, F. Texture-based classification for characterizing regions on remote sensing images / F. Borne, G. Viennois // Journal of Applied Remote Sensing. – 2017. – Vol. 11(3).

7. Hemalatha, S. Unsupervised segmentation of remote sensing images using FD based texture analysis model and ISODATA / S. Hemalatha, S.M. Anuncia // International Journal of Ambient Computing and Intelligence. – 2017. – Vol. 8(3). - P. 58-75.

8. Sharon A. Fast Multi-Scale Image Segmentation / A. Sharon, A. Brandt, R. Basri // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S.l.], 2000. Vol. 1. - P. 77 - 79.
9. Sumengen B. Multi-Scale Edge Detection and Image Segmentation // B. Sumengen, B. S. Manjunath // Proceedings of European Signal Processing Conference.- [S.l.], 2005. - P. 102 - 107.
10. Kumar R. Automatic Image Segmentation using Wavelets / R. Kumar, Venugopal, Patnaik // International Journal of Computer Science and Network Security. February 2009. Vol. 9, №.2. - P. 75 - 81.
11. Hnatushenko V.V. Pansharpening technology of high resolution multispectral and panchromatic satellite images / V.V. Hnatushenko, Vik.V. Hnatushenko, O.O. Kavats, V.Yu. Shevchenko // Науковий вісник НГУ, 2015, № 4 (148). - p. 91 98.
12. Kahtan V.Yu. Processing technology of multispectral remote sensing images [Electronic recourse] / V.Yu. Kahtan, V. V. Hnatushenko, Y. I. Shedlovskaya // International Young Scientists Forum on Applied Physics. 2017. October, 16 – 20, Lviv, Ukraine : Proceedings. Lviv, 2017. – p. 355-358.
13. Kashtan V.Iu. Tekhnolohiia rozpiznavannia ob'ektiv na tsyfrovyykh suputnykovyykh zobrazhen / V.Iu. Kashtan, V.V Hnatushenko // Tezy dopovidei na II Vseukrainskii naukovo-praktychnii konferentsii MEICS-2017 Dnipro, 2017 r. – s.16-17.
14. Gonsales, R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / Gonsales R., Vuds. R. -M.: Tehnosfera, 2005. - 1072 s.