

***Розвиток радіоелектроніки, комп'ютерних систем
та інфокомунікацій в авіаційно-космічній галузі України.***

Ігор БЕРЕШКО

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та техногенної безпеки
факультету літакобудування
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна
e-mail: i.bereshko@khai.edu,
ORCID: 0000-0002-0675-9582*

Вікторія КРУЧИНА

*кандидатка технічних наук, доцентка,
завідувачка кафедри екології та техногенної безпеки
факультету літакобудування
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна
e-mail: v.kruchyna@khai.edu,
ORCID: 0000-0001-6474-3178*

Валерія КЛЕЄВСЬКА

*старша викладачка кафедри екології та техногенної безпеки
факультету літакобудування
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна
e-mail: v.kleyevska@khai.edu,
ORCID: 0000-0002-2117-139X*

**ВИБІР МЕТОДІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ
З КВАДРОКОПТЕРІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ЗМІН НА МІСЦЕВОСТІ**

Анотація: Робота присвячена актуальній проблемі використання дронів для моніторингу змін на земній поверхні, зокрема, для виявлення забруднених ділянок та прихованих змін за допомогою аналізу зображень. Особливу увагу приділено методам сегментації зображень як ключовому етапу такого аналізу. Розглядаються різноманітні методи сегментації (порогова, на основі градієнтів, регіонів, кластерна, активні контури, глибоке навчання), їх переваги та недоліки. Проводиться порівняльний аналіз методів та надаються рекомендації щодо вибору оптимального методу в залежності від конкретної задачі. Акцентується увага на перспективності використання глибокого навчання для автоматизації процесу сегментації та підвищення точності результатів.

Ключові слова: моніторинг, сегментація зображень, виявлення змін, забруднення ґрунту, аналіз зображень.

**IMAGE SEGMENTATION METHODS FOR DETECTING HIDDEN CHANGES
IN TERRAIN USING DRONE IMAGERY**

Abstract: This paper addresses the pressing issue of using drones to monitor changes in the Earth's surface, particularly for detecting contaminated areas and hidden changes through image analysis. Special attention is paid to image segmentation methods as a key step in such analysis. Various segmentation methods (thresholding, gradient-based, region-based, clustering, active contours, deep learning) are considered, along with their advantages and disadvantages. A

comparative analysis of the methods is conducted, and recommendations are provided for selecting the optimal method depending on the specific task. The paper emphasizes the promise of deep learning for automating the segmentation process and improving the accuracy of results.

Keywords: monitoring, image segmentation, change detection, soil contamination, image analysis.

Використання дронів у поєднанні з сучасними методами обробки зображень відкриває нові перспективи для дослідження земної поверхні. Завдяки здатності дронів збирати великі обсяги даних високої роздільної здатності, а також завдяки розвитку алгоритмів сегментації зображень, ми отримуємо потужний інструмент для виявлення найдрібніших змін в ландшафті. Ці зміни можуть бути пов'язані як з природними процесами, такими як ерозія ґрунтів, зміни клімату, так і з антропогенною діяльністю, наприклад, розширенням міст, вирубуванням лісів, або забрудненням довкілля. Аналіз сегментованих зображень дозволяє не тільки виявляти зміни, але й оцінювати їхню динаміку та прогнозувати подальший розвиток ситуації. Одним з ключових етапів такого аналізу є сегментація зображень – розподіл зображення на окремі ділянки, що відповідають різним об'єктам або класам [1]. Від правильного вибору методу сегментації залежить точність подальшого аналізу та висновки дослідження.

Розглянемо різноманітні методи сегментації зображень, які використовуються для виявлення змін на земній поверхні. Серед них можна виділити такі: порогова сегментація, сегментація на основі градієнтів, регіональна сегментація, кластерний аналіз, активні контури та глибоке навчання. Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та недоліки, що робить вибір оптимального методу залежним від конкретного завдання та характеристик зображень [2]. Ми детально проаналізуємо ці методи, порівняємо їх ефективність на практичних прикладах та визначимо сфери їхнього найкращого застосування.

Наявність прихованих у товщі ґрунту залишків техніки, снарядів та мін є серйозною проблемою, яка має далекосяжні наслідки для навколишнього середовища та суспільства. Вибухові речовини та важкі метали, що містяться в цих об'єктах, поступово проникають у ґрунт і ґрунтові води, забруднюючи їх та негативно впливаючи на флору і фауну. Це може призвести до зниження родючості ґрунтів, загибелі рослин та тварин, а також до забруднення джерел питної води. Крім того, невиявлені боєприпаси становлять значну загрозу для життя та здоров'я людей, оскільки можуть вибухнути під час сільськогосподарських робіт, будівництва або випадкового потрапляння на них.

Сегментація зображення – це процес розділення цифрового зображення на кілька сегментів (областей), кожен з яких відповідає одному об'єкту або частині об'єкта. Цей процес

є основоположним для багатьох завдань комп'ютерного зору, таких як розпізнавання образів, стеження за об'єктами, медична візуалізація та ін.

Задача виявлення змін у рослинності на полях, забруднених металами, є складною і вимагає застосування ефективних методів сегментації зображень. Різні методи мають свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати при виборі оптимального рішення [3].

Розглянемо основні з них.

1. Порогова сегментація:

- переваги: Проста у реалізації, дозволяє швидко виділити ділянки з різною яскравістю;

- недоліки: Низька точність, особливо при неоднорідному освітленні та складній структурі рослинності. Малопридатна для виявлення поступових змін у рослинному покриві.

2. Сегментація на основі градієнтів:

- переваги: Добре виявляє чіпкі межі між ділянками з різною рослинністю, може використовуватися для виділення окремих рослин;

- недоліки: Чутлива до шуму, не завжди точно визначає межі ділянок з поступовими змінами.

3. Сегментація на основі регіонів:

- переваги: Може виділяти неоднорідні ділянки з різною рослинністю, добре працює при складній структурі зображення;

- недоліки: Складність у визначенні початкових регіонів, може призвести до пере- або недосегментації.

4. Кластерна сегментація:

- переваги: Дозволяє виділити ділянки з різними спектральними характеристиками, що важливо для виявлення змін у рослинності, пов'язаних з забрудненням металами;

- недоліки: Необхідність задавати кількість кластерів, може бути чутлива до вибору метрики відстані.

5. Сегментація на основі активних контурів:

- переваги: Гнучкість, можливість інтерактивної корекції результатів;

- недоліки: Вимагає значних обчислювальних ресурсів, чутлива до початкової ініціалізації.

6. Глибоке навчання:

- переваги: Висока точність, здатність навчатися на великих обсягах даних, може автоматично виявляти складні ознаки, пов'язані з забрудненням;

- недоліки: Вимагає великої кількості даних для навчання, складність у інтерпретації результатів.

Для наочного порівняння ефективності різних методів сегментації та вибору оптимального рішення для конкретної задачі, побудуємо детальну порівняльну таблицю, в якій надамо рекомендації щодо застосування кожного методу для обраної задачі.

На основі наведених даних надамо рекомендації щодо вибору методу сегментації залежно від поточних завдань.

Для швидкого отримання загального уявлення про стан рослинності найбільш придатною може бути порогова сегментація або сегментація на основі градієнтів.

Для більш детального подальшого аналізу виявлених неоднорідних ділянок підходить сегментація на основі регіонів або кластерна сегментація.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця методів сегментації зображення для випадку поля, забрудненого важкими металами

Метод сегментації	Переваги	Недоліки	Придатність для задачі
Порогова	Простота	Низька точність, чутливість до освітлення	Малоприсадаблена
На основі градієнтів	Виявлення чітких меж	Чутлива до шуму	Помірна
На основі регіонів	Виділення неоднорідних ділянок	Складність у визначенні початкових регіонів	Добра
Кластерна	Виділення спектральних характеристик	Необхідність задавати кількість кластерів	Добра
Активні контури	Гнучкість	Висока обчислювальна складність	Може бути використана для уточнення результатів інших методів
Глибоке навчання	Висока точність, автоматизація	Вимагає великої кількості даних	Дуже перспективний

Для точного виявлення меж між різними типами рослинності або між різними її станами варто обирати метод активних контурів або глибоке навчання.

Для автоматизації процесу і отримання високоточних результатів: глибоке навчання.

Також оптимальний вибір методу залежить від конкретних умов:

- якість зображень: наявність шуму, неоднорідність освітлення;
- складність рослинності: однорідні або різноманітні види рослин;
- характер забруднення: види металів, рівень концентрації;
- вимоги до точності та швидкодії.

Комбінування різних методів сегментації, таких як глибоке навчання та активні контури, відкриває нові можливості для точного виявлення прихованих змін на місцевості. Глибоке навчання, завдяки своїй здатності навчатися на великих обсягах даних, дозволяє здійснювати швидко і грубо сегментацію зображень, виділяючи області, які можуть містити об'єкти, що цікавлять. Активні контури, в свою чергу, дозволяють уточнювати межі цих об'єктів з високою точністю, адаптуючись до складної форми об'єктів та неоднорідності зображення. Такий підхід дозволяє поєднати переваги обох методів, отримуючи більш надійні та деталізовані результати сегментації.

Глибоке навчання, безперечно, є найперспективнішим методом сегментації зображень для виявлення змін у рослинності на забруднених ділянках. Завдяки своїй здатності автоматично виявляти складні візерунки та особливості в даних, глибокі нейронні мережі можуть точно ідентифікувати навіть незначні зміни в рослинному покриві, спричинені забрудненням. Крім того, глибоке навчання дозволяє обробляти великі обсяги даних, що є особливо важливим для моніторингу великих територій. Однак, для ефективного застосування глибокого навчання необхідні великі навчальні множини, які містять детально анотовані зображення, та потужні обчислювальні ресурси, що може бути обмежуючим фактором для деяких досліджень.

Список використаних джерел:

1. Берешко І. М., Кручина В. В., Клеєвська В. Л. Виявлення прихованих змін на поверхні землі за допомогою зображень із квадрокоптера. Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування: матеріали Міжнар. наук. конф., 25-26 квітня 2024 р. Харків: ДБТУ, 2024. С. 179-180.
2. Li, J., Cai, Y., Li, Q., Коц, М., & Zhang, T. (2024). A review of remote sensing image segmentation by deep learning methods. *International Journal of Digital Earth*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2328827>
3. Castelluccio, Marco, Giovanni Poggi, Carlo Sansone, and Luisa Verdoliva. 2015. "Land Use Classification in Remote Sensing Images by Convolutional Neural Networks." arXiv preprint arXiv: 1508.00092.