

## ВИКОРИСТАННЯ ЛІДАРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

**Постановка проблеми.** Екологічну ситуацію у світі можна охарактеризувати як критичну. Серед глобальних екологічних проблем: винищення лісів, виснаження ресурсів прісної води, скорочення запасів корисних копалин, катастрофічні зміни природних ландшафтів, несанкціонована забудова заповідних територій та ін. В даних умовах, окрім проведення заходів з мінімізації шкідливих впливів людини на навколишнє середовище, суттєву роль набувають засоби та технології екологічного контролю. Для сучасного інформаційного суспільства найважливішою умовою такого контролю є оперативність отримання даних та швидкий доступ до них. Цим вимогам у повній мірі відповідає космічний моніторинг з подальшим представленням отриманої просторової інформації в геоінформаційних системах та надання доступу до неї через геопортали в режимі онлайн. Технології космічного екологічного моніторингу дозволяють оперативно фіксувати, картографувати та аналізувати дані дистанційного зондування землі (ДЗЗ), виявляючи пагубні впливи людини на навколишнє середовище та різкі природні зміни ландшафтів. Суцільні та вибіркові вирубки лісів, вплив промислової забудови на природні ландшафти, наслідки лісових пожеж, повеней та інших природних катаклізмів чітко виявляється на оптичних та радарних космічних знімках. Традиційні наземні методи екологічного контролю самі по собі є дорогими, призводять до великих трудових та часових витрат. У зв'язку з цим економічно ефективними залишаються лише вибіркові польові дослідження, направлені на виявлення тонких тенденцій у середовищі, що не можуть бути виявленими за даними ДЗЗ. Усі інші техногенні впливи, різкі природні зміни доцільно контролювати за космічними знімками.

**Аналіз останніх досліджень.** Традиційне отримання інформації про висоту засобами фотограмметрії є витратним процесом з точки зору часу та трудових ресурсів. Більш того, даний метод має обмежені можливості з картографування місцевості вкритої деревами, оскільки необхідно аби місцевість було видно з двох різних точок огляду (наприклад, на двох різних зображеннях). Серед останніх здобутків ДЗЗ слід відзначити широке розповсюдження радарної технології отримання знімків, що набула значного поширення із запуском супутників, що дозволяють отримувати високоякісні радарні знімки будь-якої ділянки земної поверхні [1-3]. Відмінною рисою радарних систем є можливість отримання високоякісних знімків незалежно від рівня освітленості та практично у будь-яких метеорологічних умовах. Крім того, радарні дані містять інформацію про висоту об'єктів, що відкриває принципово нові можливості в області розпізнавання зображень, виявлення змін та 3D-візуалізації.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Різновидом радарної зйомки є зйомка з застосуванням лідару (LIDAR – Light Detection and Ranging). Застосування лазера у якості активного елемента дозволяє здійснювати аналіз земної поверхні за великим набором параметрів з надзвичайною точністю та гнучкістю. Існує багато областей застосування лідару. Ця стаття надає технічну інформацію, що підтверджує доцільність застосування лідарних даних для розпізнавання об'єктів земної поверхні. Запропоновано методику виявлення будівель з використанням лідарних даних.

**Основна частина.** У [3] було розроблено алгоритми виявлення будівель, використовуючи геометричні ознаки об'єктів зображення. При цьому розглядалися лише оптичні сканерні зображення високого та надвисокого просторового розрізнення, де джерелом інформації були інтенсивності випромінювання відбитого від відповідних точок земної поверхні. Далі показано, що запропоновані методи виявлення будівель з використанням геометричних ознак є більш ефективними, якщо в якості вихідних даних використовуються лідарні зображення.

Ключовим фактором при виборі даного класу зображень є можливість отримання інформації про висоту об'єктів земної поверхні. Сучасний лідар визначає абсолютну висоту місцевості із точністю порядку 10-20 см, при цьому точність отримання відносної висоти (наприклад, висоти будівель) є ще більш високою. Ще однією особливістю лідару є можливість «бачити» земну поверхню крізь дерева, тобто отримувати інформацію про висоту та характер місцевості, що повністю вкрита рослинністю. Дана особливість може бути використана, наприклад, для виявлення лісових доріг, що повністю закриті деревами, які навісають над дорожнім покриттям. Це досягається завдяки тому, що навіть у густих лісах є невеликі просвіти, що дозволяють частині променів досягти землі (покриття) та відбитися від неї.

**Формат даних LIDAR.** Стандартним форматом для представлення лідарних даних є файли формату LAS (від “laser”). Як правило, файл генерується програмним забезпеченням (наприклад, наданого виробниками обладнання LIDAR), що використовує дані GPS, IMU (внутрішньої навігаційної системи [2]) та дані лазерних імпульсів для отримання X, Y та Z-координат точки. Формат представляє собою набір бінарних даних, що складається з блоку заголовку (Public Header Block), записів змінної довжини (Variable Length Records) та записів даних точок (Point Data Records). Заголовок містить

загальні дані, такі як кількість точок та координати границь. Записи змінної довжини містять інформацію про типи даних, включаючи проекційну інформацію, метадані, інформацію про форму сигналу та різноманітні дані користувача [4]. Інформація, необхідна для розпізнавання об'єктів зображень міститься у третьому блоці, що містить у собі наступні дані (див. табл. 1).

Табл. 1. Формат даних точок LIDAR

Параметр (англ.)	Розмір	Інформація про параметр
X	4 байти	Координати точки.
Y	4 байти	
Z	4 байти	
Intensity	2 байта	Інтенсивність амплітуди імпульсу, що повернувся.
Return Number	3 біта	Оскільки кожний відправлений імпульс може відбитися та повернутися до приймача декілька разів, цей параметр визначає порядковий номер імпульсу, що повернувся.
Number of Returns	3 біта	Загальна кількість повернень заданого випроміненого імпульсу.
Scan Direction Flag	1 біт	Параметр приймає значення 1 у разі прямого та 0 у разі оберненого напрямку сканування, де прямим напрямком вважається сканування зліва направо відносно напрямку польоту.
Edge of Flight Line	1 біт	Біт приймає значення 1 у разі, якщо точка знаходиться на границі скану (остання точка лінії сканування перед тим, як вона змінить напрямок).
Classification	1 байт	Містить інформацію про клас точки (див. табл. 2).
Scan Angle Rank (-90 to +90) – Left Side	1 байт	Кут точки по відношенню до лазерної системи. Кут у $\theta$ градусів відповідає надиру. Відповідно, кут з від'ємним значенням відмірюється ліворуч до напрямку польоту.
User Data	1 байт	Довільне поле, що може бути використано користувачем.
Point Source ID	2 байта	Значення цього поля вказує на файл, з якого було взято точку. 0 вказує на те, що точка належить даному файлу.

Лідарні системи мають змогу фіксувати перше, друге та, нарешті, “останнє” повернення окремого лазерного імпульсу. Порядковий номер променя, що повернувся, може допомогти визначити тип поверхні, від якої відбулося відбиття (наприклад, земля, дерево, підлісок). За кількістю таких повернень також можна визначити характер поверхні. Звичайний сучасний лідар може фіксувати до п'яти повернень на імпульс.

У табл. 2 наведено класи точок лідарних даних. Наявність класифікаційних даних суттєво покращує достовірність дешифрування. При цьому немає необхідності використання складних алгоритмів спектрального аналізу, що використовуються за класифікації мультиспектральних оптичних зображень.

Табл. 2. Стандартні класи точок даних LIDAR

Значення	Клас точки
0	Класифікація не здійснювалася
1	Некласифікована
2	Земля
3	Низька рослинність
4	Середня рослинність
5	Висока рослинність
6	Будівлі
7	Дуже низька точка (шум)
8	Ключова точка моделі (основні точки)
9	Вода
10-11, 13-31	Зарезервовано
12	Точки перекриття (з'являються в результаті накладання ліній польоту)

Отже, лідарні дані містять набагато більше інформації, ніж X, Y та Z координати (рис. 2.), та, серед іншого, можуть включати інформацію про інтенсивність імпульсів, що повернулися, інформацію про класифікацію точок (якщо таку було здійснено), кількість повернень, час фіксації та джерело (лінія польоту) кожної точки. Ця інформація може також зберігатися у текстових файлах (формат ASCII), але розмір таких файлів може бути досить великим (декілька мільйонів записів з багатьма текстовими символами), що робить незручною роботу з ними.

Якщо до «висотного» зображення (рис. 3) застосувати один з методів сегментації, наведений у [1], наприклад, бінаризацію за методом Отсу (або за іншим експериментально обраним порогом),

отримаємо бінарне зображення проєкцій об'єктів (рис. 1), висота яких перевищує деякий поріг (рис. 1). Даний підхід надає змогу виключити помилкову класифікацію тіней, що призводять до отримання небажаних об'єктів на бінарному зображенні або спотворюють форми проєкцій штучних об'єктів. Таким чином результуюче бінарне зображення гарантує виключно геометричну природу проєкцій об'єктів. Наступними кроками є морфологічна обробка зображення з метою вилучення небажаних елементів зв'язності та застосування геометричних ознак об'єктів для виявлення будівель та інших об'єктів штучного походження (див. табл. 3).

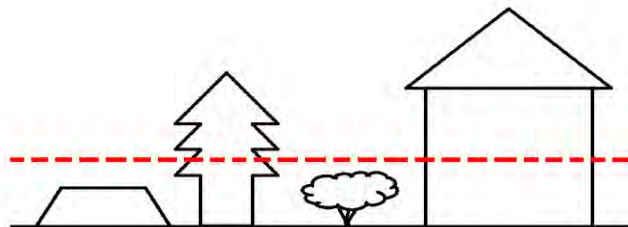
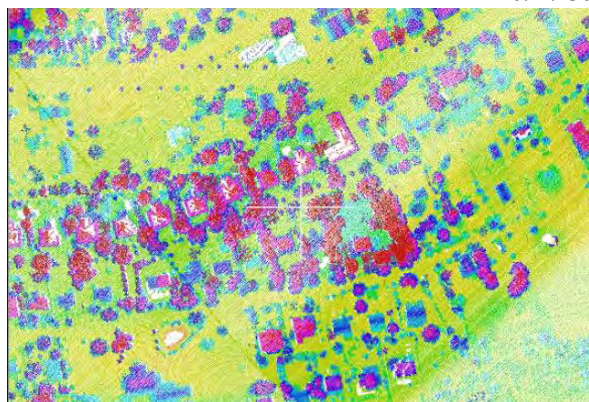


Рис. 1. Сегментація за висотою



а) точки забарвлені за висотою



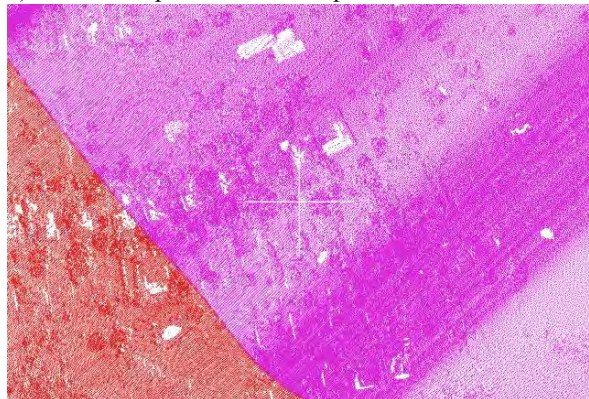
б) точки забарвлені за інтенсивністю



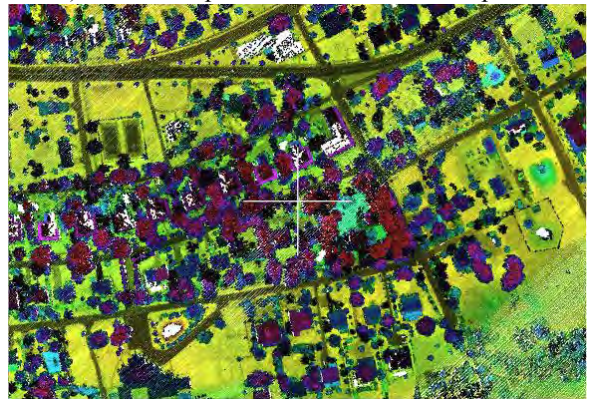
в) точки забарвлені за класифікацією



г) точки забарвлені за кількістю повернень



д) точки забарвлені за джерелом польоту



е) суміщені дані інтенсивності та висоти

Рис. 2. Різновиди лідарних зображень



Рис. 3. Зображення висот у відтінках сірого



Рис. 4. Результат сегментації зображення висот

Використання удосконаленого коефіцієнту прямокутності (УКП), розробленого у [1], дозволяє з високою достовірністю розпізнавати штучні об'єкти.

Табл. 3. Застосування УКД для розпізнавання штучних об'єктів

Бінарне зображення об'єкту	Зображення вилученого об'єкту	Зображення об'єкту у лінійному положенні	УКП об'єкту
			0,81

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Застосування лідарних зображень суттєво розширює можливості існуючих методів розпізнавання об'єктів. Застосування лише інформації про висоту дозволяє значно покращити достовірність розпізнавання. Цілу низку можливостей лідарних зображень залишено поза увагою даної роботи, що свідчить про величезний потенціал даного класу зображень в розпізнаванні та візуалізації даних. Наступною задачею після розпізнавання є виявлення змін за різночасовими зображеннями та їх тривимірна візуалізація.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Суцєвський Д.В. Геометричні моделі ідентифікації та візуалізації змін штучних об'єктів земної поверхні за різночасовими зображеннями. Дис. ... канд. техн. наук / Дніпропетровський національний університет ім. Олєся Гончара. – Дніпропетровськ, 2011. – 147 с.
2. Гнатушенко В.В. Сінєргетичний підхід до побудови тривимірної карти змін об'єктів земної поверхні / В.В. Гнатушенко, Д.В. Суцєвський // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Мелітополь, 2012. – Вип. 4 – С. 62-67.

3. Carter J. LIDAR 101: An introduction to LIDAR technology, data, and applications / J. Carter, K. Schmid, K. Waters, L. Betzhold, B. Hadley, R. Mataosky, J. Halleran // NOAA Coastal Services Center, Charleston, 2012. – 72 p.
4. LAS Specification version 1.4 / The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. – Bethesda, Maryland, 2012. – Version 1.4. – 27 p.

СУЩЕВСЬКИЙ Дмитро Валерійович — к.т.н, доцент кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання та обробка фотограмметричних зображень.