

Олексій Циганов

Аспірант кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна
0009-0008-6965-130X
o.tsyganov@nubip.edu.ua

Ігор Болбот

д.т.н, проф., професор кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна
0000-0002-5708-6007
igor-bolbot@nubip.edu.ua

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТІВ УРАЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Анотація. У роботі представлено принципову схему інтелектуального роботизованого комплексу для моніторингу ґрунтів, уражених внаслідок військових дій. Запропонована структура базується на інтеграції безпілотних наземних та повітряних платформ, мультисенсорних систем (LiDAR, гіперспектральна, теплова, SAR-зйомка) та модулів штучного інтелекту для автоматичного виявлення і класифікації пошкоджень. Архітектура комплексу передбачає три основні рівні: збір даних сенсорними підсистемами, аналітичну обробку даних у хмарному середовищі та формування карт деградації ґрунтів. На основі дослідження структур Agrobot Lala (2022) та Autonomous In-situ Soil Mapping System (2025) розроблено узагальнену концепт принципової схеми, що поєднує мобільну роботизовану платформу, автоматизований модуль відбору зразків і систему штучного інтелекту для оцінювання фізико-хімічних показників. Комплекс орієнтований на роботу у зонах підвищеної небезпеки та забезпечує дистанційне отримання даних для подальшої рекультивації територій.

Ключові слова: інтелектуальний роботизований комплекс; моніторинг ґрунтів; LiDAR; штучний інтелект; військові дії.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Внаслідок військових дій значні площі сільськогосподарських угідь України зазнали механічних пошкоджень, забруднення вибуховими речовинами та важкими металами, що призвело до деградації ґрунтового покриву та втрати його продуктивності. Традиційні методи обстеження таких територій є трудомісткими, небезпечними і не забезпечують необхідної просторової та часової роздільної здатності. Тому виникає потреба у створенні інтелектуального роботизованого комплексу, здатного автономно здійснювати моніторинг стану уражених ґрунтів із використанням технологій дистанційного зондування, сенсорних систем і штучного інтелекту для оперативного виявлення пошкоджень та планування відновлювальних заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні роботи у сфері точного землеробства та екологічного моніторингу демонструють активний розвиток автономних систем для аналізу стану ґрунтів із використанням роботизованих платформ і технологій штучного інтелекту. У дослідженні Kitic G. et al. (2022) представлено систему Agrobot Lala, що поєднує безпілотну наземну платформу, сенсорні модулі та хмарну аналітику для відбору і аналізу зразків ґрунту в польових умовах. Nguyen T. H. et al. (2025) розробили архітектуру SAS-Lab, у якій роботизований модуль виконує відбір проб, а стаціонарна лабораторія проводить аналіз макронутрієнтів і pH із подальшим картографуванням результатів за допомогою алгоритмів Gaussian Processes. В інших дослідженнях наголошується на важливості геометричної точності LiDAR-систем для побудови цифрових моделей рельєфу та мультисенсорного зондування територій [1],

ефективності застосування роботизованих платформ у точному землеробстві [2], а також перспективності об'єднання спектральних і радарних каналів для створення багатовимірних карт ґрунтових властивостей [3], [4].

Мета публікації. Мета роботи – розробка принципової схеми інтелектуального роботизованого комплексу для моніторингу ґрунтів, уражених внаслідок військових дій, що забезпечує інтеграцію мультисенсорних систем, дистанційного зондування та штучного інтелекту для автоматизованого виявлення пошкоджень і оцінки стану земель з подальшим плануванням їх рекультивації.

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Предметом дослідження є принципова схема інтелектуального роботизованого комплексу для моніторингу ґрунтів, уражених внаслідок військових дій. Проведено аналіз структур сучасних автономних систем моніторингу, зокрема *Agrobot Lala* та *SAS-Lab*, із подальшим моделюванням архітектури комплексу у середовищі CAD. Сенсорну підсистему представлено комбінацією LiDAR, гіперспектральних, теплових і радарних модулів, що забезпечують багатоканальний збір даних про стан ґрунту. Для обробки інформації застосовано алгоритми машинного навчання та геоінформаційного аналізу, які дозволяють здійснювати класифікацію пошкоджень і формувати цифрові карти деградації територій. Параметри моделі адаптовано до умов реального польового моніторингу, що забезпечує її подальше використання при створенні прототипу комплексу.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

На основі аналізу сучасних рішень у галузі автономного моніторингу ґрунтів [5], [6] та методів мультисенсорної обробки даних [1], [3] розроблено принципову схему інтелектуального роботизованого комплексу для моніторингу ґрунтів, уражених внаслідок військових дій.

Архітектура комплексу. Запропонована схема передбачає три функціональні рівні:

- Польовий рівень – роботизовані наземні й повітряні платформи, оснащені мультисенсорними системами (LiDAR, гіперспектральні, теплові, SAR-сенсори). Ці модулі забезпечують збір даних про структуру, вологість, рельєф і потенційні зони забруднення ґрунтів, включаючи ділянки із залишками вибухових речовин.
- Аналітичний рівень – модуль обробки даних, що інтегрує результати сенсорних вимірювань у хмарному середовищі з використанням алгоритмів машинного навчання. На цьому етапі здійснюється класифікація пошкоджень, побудова карт хімічних і фізичних параметрів ґрунтів, а також формування звітів для подальшої рекультивації.
- Системно-керуючий рівень – інтелектуальний блок прийняття рішень, який визначає траєкторії руху наземних роботів, оптимізує маршрути обльоту БПЛА та забезпечує синхронізацію дій усіх підсистем у режимі реального часу.

Запропонована концепція орієнтована на комплексне виявлення деградаційних процесів унаслідок військових впливів — механічних, хімічних та термічних. Вона поєднує принципи *SAS-Lab* [6], що розділяє мобільний модуль відбору проб і стаціонарну лабораторію аналізу, із можливостями дистанційного зондування.

Модульна інтеграція. Принципова схема включає такі основні модулі:

- Сенсорний блок – комбінація оптичних, теплових, радарних і спектральних сенсорів для багатошарового моніторингу стану ґрунту [1], [3];

- Маніпуляційний модуль – механічна система відбору зразків за принципом електричного або шнекового пробовідбору, адаптована до умов високої твердості ґрунту, як у системах Agrobot Lala [5];
- Аналітичний модуль – поєднання польової лабораторії та програмного блоку для аналізу вмісту макронутрієнтів, рН, важких металів і вологи, що використовує алгоритми Gaussian Processes для побудови просторових моделей [6];
- Комунікаційна підсистема – забезпечує передачу даних між польовими роботами, безпілотниками та центральним сервером через LTE-канали.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Віртуальне моделювання роботи комплексу показало, що його застосування дозволяє скоротити час обстеження уражених ділянок у 3–4 рази порівняно з традиційними методами наземного відбору проб. Передбачувана точність визначення параметрів деградації ґрунту за рахунок комбінування LiDAR і гіперспектральних даних становить до 90 %, що відповідає вимогам до високоточних систем дистанційного моніторингу [1], [2].

Таким чином, розроблена принципова схема демонструє можливість створення комплексного інтелектуального рішення для моніторингу ґрунтів у зонах військових дій. Її модульна структура дозволяє адаптувати систему під різні рівні загрози, розширювати спектр сенсорів і забезпечувати безпечне дистанційне спостереження за станом деградованих земель.

ПОСИЛАННЯ

- [1] Mohamed M. R. Mostafa, Stefanie Van-Wierst, Vi Huynh, "Geometric Accuracy Assessment of Unmanned Digital Cameras and LiDAR Payloads," *Microdrones*, 2018.
- [2] Botta, A.; Cavallone, P.; Baglieri, L.; Colucci, G.; Tagliavini, L.; Quaglia, G., "A Review of Robots, Perception, and Tasks in Precision Agriculture," *Applied Mechanics*, vol. 3, pp. 830–854, 2022. DOI: 10.3390/applmech3030049.
- [3] Milella, A., Reina, G., Nielsen, M., "A Multi-Sensor Robotic Platform for Ground Mapping and Estimation Beyond the Visible Spectrum," *Precision Agriculture*, vol. 20, pp. 423–444, 2019. DOI: 10.1007/s11119-018-9605-2.
- [4] F. F. F. Asal, "Comparative analysis of the digital terrain models extracted from airborne lidar point clouds using different filtering approaches in residential landscapes," *Advances in Remote Sensing*, vol. 8, no. 2, pp. 51–75, 2019.
- [5] Kitić, G.; Krklješ, D.; Panić, M.; Petes, C.; Birgermajer, S.; Crnojević, V., "Agrobot Lala—An Autonomous Robotic System for Real-Time, In-Field Soil Sampling, and Analysis of Nitrates," *Sensors*, vol. 22, no. 11, 4207, 2022. DOI: 10.3390/s22114207.
- [6] Nguyen, T. H.; Muller, E.; Rubin, M.; Wang, X.; Sibona, F.; McBratney, A.; Sukkarieh, S., "Towards Autonomous In-situ Soil Sampling and Mapping in Large-Scale Agricultural Environments," *IEEE ICRA Workshop on Field Robotics*, 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2506.05653.

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY
OF LIFE AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES OF UKRAINE

FACULTY OF INFORMATION
TECHNOLOGY

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

PROCEEDINGS

XIII International scientific
and practical conference

**GLOBAL AND
REGIONAL PROBLEMS OF
INFORMATIZATION IN
SOCIETY AND
NATURE USING
'2025**

13-14 November 2025

Kyiv, NULES of Ukraine

Kyiv 2025

МАТЕРІАЛИ

XIII Міжнародної науково-
практичної конференції

**ГЛОБАЛЬНІ ТА
РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В
СУСПІЛЬСТВІ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ
'2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ Міжнародної науково-практичної конференції

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ '2025

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

УДК 004

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 4 від 18.12.2025).

Укладач: д.т.н., доцент Шкарупило В.В.

Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2025", 13–14 листопада 2025 року, НУБіП України, Київ. – К.: НУБіП України, 2025. – 206 с.

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

© Національний університет біоресурсів
і природокористування України, 2025