

Іван Савченко

Аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження, кафедра автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, м. Київ, Україна.

0009-0005-5299-6051

i.savchenko@nubip.edu.ua

Ігор Болбот

Доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій

Національний університет біоресурсів і природокористування України, факультет інформаційних технологій, м. Київ, Україна.

0000-0002-5708-6007

igor-bolbot@nubip.edu.ua

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СТАНО РОСЛИН У ЗАКРИТОМУ ҐРУНТІ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ

Анотація. Розглянуто підхід до автоматизованої ідентифікації ураження томату в теплиці на основі спектральних індексів (SVI) з ближнього видимого та NIR/red-edge діапазонів у складі мобільного роботизованого комплексу. Висвітлено перспективи комбінації NDRE/NDVI і функціональних індексів для ідентифікації ранніх змін, а також як це вбудовується в крайовий обчислювальний конвеєр.

Ключові слова: робототехніка; моніторинг рослин; спектральні індекси; гіперспектральна зйомка; теплиця; ураження листя; комп'ютерний зір.

1. ВСТУП

У закритому ґрунті навіть локальне ураження швидко масштабується через щільність посадок і стабільний мікроклімат. Система моніторингу має неструктуривно ідентифікувати добіометричні та функціональні зміни до появи виражених симптомів, працюючи в умовах змінного освітлення, тіней та оклюзій. Спектральні індекси - компактні, інтерпретовані ознаки для таких змін, вони добре підходять для крайового обчислення на мобільному роботі з подальшою передачею подій у SCADA/IoT. Узагальнюючі роботи відзначають ключову роль red-edge каналів для чутливості до хлорофілу та ранніх порушень метаболізму, а також цінність функціональних індексів як маркерів фотосинтетичного стресу [1].

2. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження Zhang та ін. (2024) [2] продемонструвало, що гіперспектральна зйомка дозволяє виявляти бактеріальну плямистість листка томату на досимптоматичних стадіях і надійно розрізняти інфекційні плями від абіотичних. Автори показали, що використання спектральних індексів як ознак підвищує точність класифікації на 26–37 %, а також підкреслили доцільність відбору інформативних довжин хвиль залежно від стадії прогресування ураження. Отримані результати свідчать про те, що спектральні індекси є ефективним інструментом для ранньої діагностики фітопатологічних процесів у тепличних умовах, що відкриває перспективи їх застосування в автоматизованих системах моніторингу рослин.

Автори статті Zhao та ін. (2024) [3] запропонували подвійний гіперспектральний контур - поєднання VIS/NIR (380–1000 нм) та NIR (900–1700 нм) з фузією даних і відбором ознак за допомогою методів PCA, VCPA, IRIV і класифікацією моделей SVM, BP, RBF. Результати дослідження свідчать, що низько- та середньорівнева фузія спектральних даних значно підвищує точність ідентифікації хвороб у порівнянні з використанням окремих спектральних діапазонів. Найкращі результати отримано при

використанні моделі PCA-RBF, що забезпечила точність 99,3 % і Macro-F1 $\approx$ 1, що вказує на високий потенціал технології для тепличних систем автоматизованого моніторингу та підтверджує доцільність поєднання кількох спектральних сенсорів для підвищення надійності діагностики.

Етапи обробки даних та архітектура системи подані на Рисунку 1, який ілюструє повний процес аналізу - від інокуляції до класифікації отриманих спектрів.

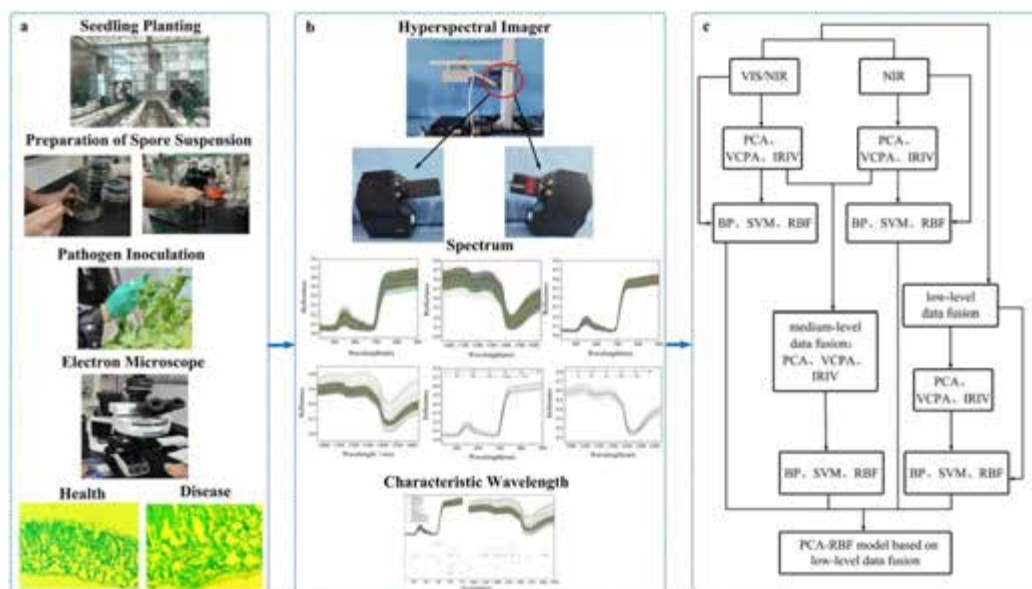


Рис. 1. Схема процесу аналізу: (а) підготовка/інокуляція/мікроскопія й формування класів; (б) захоплення VIS/NIR і NIR-даних та обчислення спектрів і характеристичних довжин хвиль; (с) архітектура фузії (низький/середній рівень) та класифікація (BP, SVM, RBF) з виділенням найкращої PCA-RBF-моделі, Zhao та ін. (2024) [3]

У своїй роботі Zhang, Nikosaka і Tomimatsu (2025) [4] дослідили зв'язок фотохімічного індексу PRI зі змінами фотосинтетичної активності за умов динамічного освітлення. Автори відзначили, що за різних змін інтенсивності світла (індукційна фаза) значення PRI тимчасово не збігається з показниками асиміляції CO₂, що може призводити до короточасних похибок у визначенні фотосинтетичної ефективності. Отримані результати підкреслюють важливість світло-адаптованих вимірювань та усереднення даних у часі при використанні функціональних спектральних індексів у середовищах зі змінним освітленням, зокрема в умовах теплиці. Мас та ін. (2024) [5] представили інтелектуальну роботизовану систему теплиці, що поєднує нечітке керування для автономної навігації між рядами рослин із глибинним аналізом зображень для виявлення листових хвороб томату. У роботі також використано аугментацію DCGAN для підвищення стабільності навчальних даних і точності класифікації. Запропонована авторами архітектура включає модуль комп'ютерного зору на борту, блок аналітики стану рослин, та канал зв'язку з IoT-середовищем для передачі діагностичних подій і координат у систему SCADA. Такий підхід ілюструє можливість поєднання навігаційних алгоритмів і спектральних методів аналізу у складі автономного комплексу моніторингу стану рослин у спорудах закритого ґрунту.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином, поєднання спектральних індексів NDRE/NDVI/PRI з ближньою мульти/гіперспектральною зйомкою та роботизованим оглядом забезпечує ранню ідентифікацію ураження томату в теплиці й природну інтеграцію в автоматизований контур. Подальшими дослідженнями буде порівняння з глибинними візуальними детекторами та гібридні схеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] L. Wan, H. Li, C. Li, A. Wang, Y. Yang, and P. Wang, "Hyperspectral Sensing of Plant Diseases: Principle and Methods," *Agronomy*, vol. 12, no. 6, p. 1451, Jun. 2022, URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061451>
- [2] X. Zhang, B. A. Vinatzer, and S. Li, "Hyperspectral imaging analysis for early detection of tomato bacterial leaf spot disease," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, Nov. 2024, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78650-6>
- [3] X. Zhao et al., "Early diagnosis of *Cladosporium fulvum* in greenhouse tomato plants based on visible/near-infrared (VIS/NIR) and near-infrared (NIR) data fusion," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, Aug. 2024, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71220-w>
- [4] J.-Q. Zhang, K. Hikosaka, and H. Tomimatsu, "Photochemical reflectance index and its relation to photosynthetic characteristics under dynamic light environment," *Plant and Cell Physiology*, 2025., URL: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaf111>
- [5] T. T. Mac, T.-D. Nguyen, H.-K. Dang, D.-T. Nguyen, and X.-T. Nguyen, "Intelligent agricultural robotic detection system for greenhouse tomato leaf diseases using soft computing techniques and deep learning," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, Oct. 2024, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75285-5>

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