

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет                      Комп'ютерної інженерії та управління  
Кафедра                        Комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

### **Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти                      другий (магістерський)

Інтелектуальна система моніторингу ґрунту.

Виконав:

студент II курсу, групи КІТм-22-1

Олександр КОНСТАНЧЕНКО

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Тип програми                      освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерні інтелектуальні  
технології

Керівник                      проф. каф. КІТС Наталія АКСАК

Допускається до захисту

Зав. кафедри

Олег РУДЕНКО

(підпис)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Комп'ютерної інженерії та управління
Кафедра	Комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	123 Комп'ютерна інженерія
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютерні інтелектуальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Констанченко Олександр Едуардовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальна система моніторингу ґрунту

затверджена наказом по університету від “ 03 ” листопада 2023 р. № 1290Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13.01.2024

3. Вхідні дані до роботи

Показники ґрунту

Аналіз даних

Хмарне сховище

Інтернет речей

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Аналіз предметної області та постановка задачі

Технологічні основи інтелектуального моніторингу ґрунту

Методи та алгоритми аналізу ґрунтових даних

Реалізація та тестування інтелектуальної системи моніторингу ґрунту

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням кафедри) 10 слайдів

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи и (п.6 включається до завдання за наявністю консультантів згідно до наказу, зазначеному у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд і аналіз сучасного стану поставленої задачі	06.11.23 - 10.11.23	Виконано
2	Постановка задачі кваліфікаційної роботи	11.11.23 - 13.11.23	Виконано
3	Обґрунтування мети вирішення поставленої задачі	14.11.23 - 20.11.23	Виконано
4	Вибір та розробка моделі аналізу ґрунту	21.11.23 - 18.12.23	Виконано
5	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	19.12.23 - 08.01.24	Виконано
6	Розробка презентації	09.01.24 - 13.01.24	Виконано
7	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	16.01.2024	Виконано
8	Попередній захист	22.01.2024	Виконано
9	Захист роботи	26.01.2024	Виконано

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(посада, ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 75 с., 11 рис., 1 дод., 33 джерел.

### МОНІТОРІНГ ҐРУНТУ, АНАЛІЗ ДАНИХ, ДАТЧИКИ, ПАРАМЕТРИ ҐРУНТУ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ХМАРНІ ОБЧИСЛЕННЯ, РОЗПОДІЛЕНІ ОБЧИСЛЕННЯ

Метою роботи є розробка системи моніторингу та аналізу різних параметрів ґрунту в сільському господарстві на основі Інтернет речей

Об'єктом дослідження є система моніторингу та аналізу стану ґрунту в сільському господарстві.

Предметом дослідження є процеси моніторингу та аналізу стану ґрунту в сільському господарстві.

Методами дослідження є інтелектуальний аналіз даних та методи кластеризації, технології створення інтелектуальних систем, теорія множин, технологія штучних нейронних мереж, мови програмування високого рівня.

У ході роботи було проведено широке дослідження для збору знань про методи моніторингу ґрунтів, інтелектуальні системи, сенсорні технології, методи аналізу даних та їх застосування в сільському господарстві та була розроблена система моніторингу ґрунту.

## ABSTRACT

Master's thesis: 75 pages, 11 figures, , 1 appendices, 33 sources.

SOIL MONITORING, DATA ANALYSIS, SENSORS, SOIL PARAMETERS,  
INTERNET OF THINGS, CLOUD COMPUTING, DISTRIBUTED COMPUTING

The purpose of the work is to develop a system for monitoring and analyzing various soil parameters in agriculture based on the Internet of Things

The object of the research is the system of monitoring and analysis of soil condition in agriculture.

The subject of the study is the process of monitoring and analyzing the condition of the soil in agriculture.

Research methods include intelligent data analysis and clustering methods, technologies for the creation of intelligent systems, set theory, artificial neural network technology, and high-level programming languages.

During the work, extensive research was conducted to gather knowledge about soil monitoring methods, intelligent systems, sensor technologies, data analysis methods and their application in agriculture, and a soil monitoring system was developed.



## АНОТАЦІЯ

Констанченко О.Е.. Інтелектуальна система моніторингу ґрунту. – Магістерська кваліфікаційна робота.

Актуальність роботи. Моніторинг ґрунту відіграє вирішальну роль у багатьох сферах. У сільському господарстві моніторинг ґрунту дозволяє визначити його плодючість та властивості, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур. І це дозволяє сільськогосподарським підприємствам раціонально використовувати ресурси та оптимізувати агротехніку. В екології моніторинг ґрунту дозволяє визначити вплив антропогенних чинників на екосистеми та вчасно реагувати на можливі зміни у стані ґрунтів для збереження біорізноманіття. Для землевпорядкування та будівництва дослідження структури та властивостей ґрунтів є важливим етапом при будівництві, що дозволяє визначити необхідні інженерні заходи для забезпечення безпеки споруд. При управлінні водними ресурсами моніторинг ґрунту допомагає визначити водопроникність та здатність ґрунтів утримувати вологу для ефективного управління водними ресурсами та запобігання затопленням. Для вирішення завдання контролю забруднення моніторинг дозволяє виявляти зміни в хімічному складі ґрунту, а також вчасно виявляти та контролювати забруднення ґрунтів важкими металами, хімічними речовинами та іншими забруднюючими речовинами. При дослідженні кліматичних змін моніторинг ґрунту також є важливим для вивчення його ролі у вуглецевому циклі та впливу на кліматичні зміни.

Отже, моніторинг ґрунту є важливим інструментом для сталого використання природних ресурсів, збереження довкілля та підтримання екосистемного балансу. У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальну.

Метою даної роботи є розробка інтелектуальної системи моніторингу ґрунту, включаючи сенсори, бездротовий зв'язок, засоби збору та передачі даних для підвищення точності та ефективності агроекологічного аналізу

Об'єктом дослідження є процес моніторингу ґрунту.

Предметом дослідження є розробка інтелектуальної системи моніторингу ґрунту

Методи дослідження: теорія штучних нейронних мереж, методи машинного навчання, статистичні методи для аналізу даних

Практична цінність отриманих результатів. Розробка інтелектуальної системи моніторингу ґрунту має важливу практичну цінність для сільськогосподарського та екологічного секторів. Запропонований підхід забезпечує точний та невинний моніторинг фізико-хімічних властивостей ґрунту для оптимізації умов росту рослин. Аналіз даних про ґрунт допомагає забезпечити оптимальні рівні вологості, рН та поживних речовин, що сприяє підвищенню врожайності та якості продукції. Ефективне використання води, добрив та інших агрохімікатів на основі реальних потреб ґрунту дозволяє зменшити зайве використання ресурсів та мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Забезпечення своєчасного виявлення проблем ґрунту, таких як недостатня вологість чи неправильний рівень рН, дозволяє уникнути страт врожаю та швидко реагувати на виниклі проблеми.

У першому розділі розглянуто актуальність та проблеми. У сільському господарстві моніторинг ґрунту дозволяє визначити його плодючість та властивості, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур. І це дозволяє сільськогосподарським підприємствам раціонально використовувати ресурси та оптимізувати агротехніку. В екології моніторинг ґрунту дозволяє визначити вплив антропогенних чинників на екосистеми та вчасно реагувати на можливі зміни у стані ґрунтів для збереження біорізноманіття. Для землевпорядкування та будівництва дослідження структури та властивостей ґрунтів є важливим етапом при будівництві, що дозволяє визначити необхідні інженерні заходи для забезпечення безпеки споруд. При управлінні водними ресурсами моніторинг ґрунту допомагає визначити водопроникність та здатність ґрунтів утримувати вологу для ефективного управління водними ресурсами та запобігання затопленням. Для вирішення завдання контролю забруднення моніторинг дозволяє виявляти зміни в хімічному складі ґрунту, а також вчасно виявляти та контролювати забруднення ґрунтів важкими металами, хімічними речовинами та іншими забруднюючими речовинами.

Огляд сучасної літератури показав, що розробка інтелектуальних систем моніторингу ґрунту включає в себе ряд технічних, екологічних та наукових проблем:

Вибір та розміщення сенсорів може бути складним завданням, оскільки різні регіони можуть вимагати різних типів сенсорів для збору різних параметрів ґрунту.

Розробка надійних та стійких систем передачі даних у реальному часі через бездротовий канал може бути викликом, особливо в умовах обмежень ресурсів та навколишніх перешкод.

Збір великої кількості даних може вимагати потужних алгоритмів обробки та аналізу.

Важливо правильно вибрати параметри ґрунту для моніторингу, оскільки це визначається потребами конкретної сфери (сільське господарство, екологія, будівництво) та може впливати на вартість та складність системи.

Наведені аспекти обумовили проблеми, які необхідно вирішити:

Невизначеність у виборі та розміщенні сенсорів для збору комплексних даних про фізико-хімічні параметри ґрунту.

Визначення найбільш важливих параметрів ґрунту для врахування в алгоритмах машинного навчання.

У другому розділі були досліджені технологічні основи інтелектуального моніторингу ґрунту. Системи інтелектуального моніторингу ґрунту (ISM) використовують безліч технологічних компонентів і методологій, щоб надавати в режимі реального часу точну та дієву інформацію про здоров'я ґрунту, рівень вологості, вміст поживних речовин та інші важливі параметри. У цьому розділі розглядаються технологічні основи, які лежать в основі ISM, охоплюючи апаратні компоненти, сенсорні технології, методи збору даних, протоколи зв'язку та архітектури програмного забезпечення. Сучасні сенсорні технології відіграють ключову роль у сучасних системах моніторингу ґрунту, забезпечуючи процес збору даних, аналізу та прийняття рішень у реальному часі. Ці датчики призначені для фіксації різних параметрів ґрунту, таких як вміст вологи, температура, рівень рН, концентрація поживних речовин і мікробна активність, серед іншого, з високою

точністю, точністю та надійністю. У цьому розділі розглядаються ключові досягнення, принципи та застосування передових сенсорних технологій у контексті інтелектуальних систем моніторингу ґрунту.

Також були розглянуті системи збору даних. Системи збору даних є фундаментальними компонентами інтелектуальних інфраструктур моніторингу ґрунту, що охоплюють різноманітне обладнання, програмне забезпечення, комунікаційні протоколи та інтеграційні структури, призначені для безперебійного, ефективного та надійного збору, передачі, зберігання й аналізу даних. У цьому розділі розглядаються ключові аспекти, функціональні можливості та вдосконалення систем збору даних, розроблених для програм інтелектуального моніторингу ґрунту.

Система використовує різні методології збору даних, такі як постійний моніторинг або періодичний відбір проб, залежно від конкретних вимог і характеристик параметрів ґрунту, що вимірюються. Безперервний моніторинг дозволяє збирати дані в реальному часі, тоді як періодична вибірка передбачає збір даних через певні проміжки часу.

Для моніторингу ґрунту важливим є правильний вибір протоколів зв'язку. Мережа 5G використовується для наднадійного зв'язку з малою затримкою, що забезпечує потокову передачу даних у реальному часі, можливості периферійних обчислень і покращену масштабованість мережі для широкомасштабного розгортання ISM.

Супутниковий зв'язок використовується для віддалених і важкодоступних сільськогосподарських регіонів, забезпечуючи постійний моніторинг ґрунту, глобальне покриття та доступність даних у різних географічних ландшафтах.

Комунікаційні протоколи є основними структурами, які керують обміном даними, командами та керуючими сигналами між взаємопов'язаними пристроями, датчиками, системами та зацікавленими сторонами в рамках інтелектуальних інфраструктур моніторингу ґрунту. У цьому розділі пояснюються ключові протоколи зв'язку, стандарти, архітектури та технології, які використовуються для

забезпечення безперебійної, безпечної та ефективної передачі даних, інтеграції та взаємодії в сучасних сільськогосподарських екосистемах.

У третьому розділі пропонується алгоритм аналізу ґрунту, який є ключовим для розуміння характеристик ґрунту, оптимізації сільськогосподарських методів і забезпечення сталого управління земельними ресурсами. У цьому розділі глибше розглядаються конкретні методи, алгоритми та інструменти, призначені для аналізу ґрунтових даних, зосереджуючись на їх застосуванні, перевагах і обмеженнях.

Пропонується архітектура системи моніторингу ґрунту, що розроблена для ефективного збору, обробки та аналізу даних із датчиків ґрунту для ефективного управління ґрунтом у сільському господарстві. Архітектура системи складається з кількох ключових компонентів, які працюють разом, щоб забезпечити безперебійну роботу та точний моніторинг.

Система використовує різноманітні датчики ґрунту, стратегічно розміщені в ґрунті, щоб фіксувати важливі параметри ґрунту. Ці датчики можуть включати датчики вологи, температури, поживних речовин, рН і солоності. Вони постійно вимірюють відповідні властивості ґрунту та надають дані в реальному часі.

Блок збору даних служить інтерфейсом між датчиками ґрунту та центральним процесором. Він збирає необроблені дані з датчиків і виконує початкову попередню обробку, включаючи посилення сигналу, фільтрацію та аналого-цифрове перетворення. Цей пристрій забезпечує точну та надійну передачу даних на центральний процесор. Система включає в себе надійну комунікаційну інфраструктуру для передачі даних від блоку збору даних до центрального процесора. Це може включати протоколи бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth або Zigbee. Вибір комунікаційної технології залежить від таких факторів, як радіус дії, швидкість передачі даних, енергоспоживання та умови навколишнього середовища.

Центральний процесор є основним компонентом системи, який відповідає за обробку даних, аналіз і прийняття рішень. Він отримує оброблені дані від блоку збору даних і застосовує різні алгоритми та методи для аналізу, інтерпретації та візуалізації даних. Центральний процесор може складатися з мікроконтролера,

вбудованої системи або більш потужного обчислювального пристрою, залежно від складності системи та її вимог до обчислень. Система містить базу даних або рішення для зберігання даних для зберігання зібраних даних про ґрунт. Компонент інтерфейсу користувача надає користувачам, наприклад фермерам або агрономам, засоби для взаємодії з системою. Системна архітектура інтелектуальної системи моніторингу ґрунту розроблена таким чином, щоб бути масштабованою, адаптованою та зручною для користувача. Це дозволяє здійснювати моніторинг стану ґрунту в реальному часі, аналізувати дані та приймати обґрунтовані рішення в сільському господарстві. Завдяки інтеграції різних компонентів і технологій система спрямована на оптимізацію методів управління ґрунтом, підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і сприяння сталим методам сільського господарства.

Пропонуються статистичні методи для аналізу показників ґрунту, що використовуються для визначення середньої вологості ґрунту або вмісту поживних речовин. Медіанні значення пропонують зрозуміти центральне значення, особливо в перекошених наборах даних. Режим визначає тип або параметр ґрунту, який найчастіше зустрічається в наборі даних.

Алгоритми машинного навчання використовуються в прогнозуванні врожайності на основі вологості ґрунту, температури та рівня поживних речовин. Розуміння лінійного зв'язку між параметрами ґрунту та ростом рослин може керувати стратегіями зрошення та внесення добрив.

Розширене дослідження представляє передові методи та моделі, необхідні для комплексного аналізу даних про ґрунт. Методології аналізу часових рядів, такі як ARIMA, дозволяють ідентифікувати часові тенденції, тоді як алгоритми кластеризації, такі як K-means, полегшують класифікацію ґрунту та виявлення аномалій. Крім того, інтеграція нейронних мереж і методів глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), пропонує неперевершені можливості для аналізу складних даних зображень ґрунту, підвищення точності класифікації та створення складних стратегій характеристики ґрунту. Використовуючи ці передові аналітичні інструменти та методи, зацікавлені сторони можуть отримати корисну

інформацію, оптимізувати сільськогосподарську практику та сприяти сталим методам управління земельними ресурсами, сприяючи збереженню навколишнього середовища, продовольчій безпеці та стійкості екосистем у глобальному масштабі.

Четвертий розділ присвячений моделюванню та тестуванню інтелектуальної системи моніторингу ґрунту. У цьому розділі роз'яснюються конкретні методології, техніки та стратегії, які використовуються в розробці, оптимізації, перевірці та розгортанні алгоритмів для сприяння комплексній оцінці здоров'я ґрунту, аналітиці даних, прогнозованню моделюванню та генеруванню корисної інформації. Зроблена перевірка роботи алгоритму та показників оцінки. Описана конфігурація апаратного забезпечення та розгортання. Також детально описана розробка та інтеграція програмного забезпечення. Розробка структури системи моніторингу ґрунту включає в себе вибір відповідних сенсорів, засобів збору та передачі даних, а також забезпечення безперебійного та ефективного бездротового зв'язку. Створюється RESTful API, використовуючи такі фреймворки, як Flask або Django, для бездоганної інтеграції зі сторонніми додатками, системами управління фермами та сільськогосподарськими платформами IoT.

Використовується архітектура мікросервісів, інструменти контейнеризації (наприклад, Docker) і оркестровки (наприклад, Kubernetes), щоб забезпечити горизонтальну масштабованість, оптимізацію ресурсів і високу доступність інтелектуальної системи моніторингу ґрунту на великих сільськогосподарських роботах.

Запроваджуються статистичні контрольні діаграми процесів, алгоритмів сукупної суми (CUSUM) і методів виявлення аномалій на основі машинного навчання (наприклад, Isolation Forest, One-Class SVM) для виявлення викидів, аномалій і нерегулярних моделей у вологості ґрунту, температурі, і рівні поживних речовин, викликаючи сповіщення в режимі реального часу та автоматизовані коригувальні дії.

Запропонований прототип системи представляє інтегрований та сучасний підхід до моніторингу ґрунту, що базується на передових технологіях IoT, машинного навчання та обробки даних у хмарному середовищі. Ця модель системи

моніторингу ґрунту відрізняється від існуючих систем тим, що дозволяє інтегрувати різноманітні технології; зберігати та оброблювати дані у хмарному середовищі для забезпечення доступу у режимі реального часу та високої масштабованості; використовувати автоматизовані методи для аналізу та інтерпретації великої кількості даних без необхідності постійного нагляду та втручання; надавати користувачам інтерфейси для легкого розуміння результатів моніторингу

## МОНІТОРІНГ ҐРУНТУ, АНАЛІЗ ДАНИХ, ДАТЧИКИ, ПАРАМЕТРИ ҐРУНТУ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ХМАРНІ ОБЧИСЛЕННЯ, РОЗПОДІЛЕНІ ОБЧИСЛЕННЯ

Публікації здобувача за темою роботи:

1. 1. Аксак Н., Констанченко О. Структура інтелектуальної систем моніторингу ґрунту // *Modern problems of science, education and society. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Kyiv, Ukraine. 2024. Pp. 326-332.*

2. О. Е. Констанченко, Н.Г. Аксак, Огляд використання систем комп'ютерного зору в сільському господарстві. *Актуальні проблеми фізики, математики, інформатики та методики їх навчання: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 18-20 січня 2023 року.* – К. : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2023. –с. 193– 195.

Використані публікації керівника, що становлять теоретичну базу роботи

1. Axak N. Cloud-fog-dew Architecture for Personalized Service-oriented Systems / N. Axak, D. Rosinskiy, O. Barkovska, I. Novoseltsev // *The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine – 2018.* – P. 80–84.

2. N. Axak, N. Serdiuk, M. Ushakov, M. Korablyov. Development of System for Monitoring and Forecasting of Employee Health on the Enterprise. / *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2020). Volume I: Main Conference, Lviv, Ukraine, April 23-24, 2020, pp. 979-992.*

3. Axak N., Korablyov M., Rosinskiy D. MapReduce Hadoop Models for Distributed Neural Network Processing of Big Data Using Cloud Services / *Advances in Intelligent Systems and Computing IV.* / Editors: Shakhovska, Natalya; Medykovsky, Mykola O., Springer, 2019. – pp. 387 – 400. ISSN: 2194-5357 //doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0 .

## ЗМІСТ

Вступ	19
1 Аналіз предметної області та постановка задачі	21
1.1 Аналіз предметної області	21
1.2 Огляд літератури	21
1.3 Постановка проблеми	24
2 Технологічні основи інтелектуального моніторингу ґрунту	25
2.1 Передові сенсорні технології	25
2.2 Системи збору даних	29
2.3 Протоколи зв'язку	31
2.4 Програмні рішення	34
2.5 Інтеграція кіберфізичних систем та IoT	34
2.6 Керування живленням	35
2.7 Розширені заходи безпеки	37
2.8 Використання систем комп'ютерного зору в сільському господарстві	39
3 Методи та алгоритми аналізу ґрунтових даних	43
3.1 Система моніторингу та контролю	43
3.2 Архітектура системи моніторингу ґрунту	46
3.3 Статистичні методи для аналізу показників ґрунту	48
3.4 Алгоритми машинного навчання	49
3.5 Геопросторовий аналіз	50
3.6 Теплові карти	50
3.7 Аналіз часових рядів. Авторегресійне інтегроване ковзне середнє (ARIMA)	51
3.8 Алгоритми кластеризації. Кластеризація K-Means	52
4 Реалізація та тестування інтелектуальної системи моніторингу ґрунту	54
4.1 Принципи розробки алгоритмів	54
4.2 Перевірка алгоритму та показники оцінки	55
4.3 Конфігурація апаратного забезпечення та розгортання	56

4.4 Розробка та інтеграція програмного забезпечення	58
4.5 Хмарна інфраструктура системи моніторингу ґрунту	58
4.6 Системна інтеграція та масштабованість	60
Висновки	65
Перелік використаних джерел	67
Додаток А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи	П

**омилка! Закладку не визначено.**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

IoT - Internet of Things (Інтернет речей)

WSN - Wireless Sensor Network (бездротова мережа датчиків)

AI - Artificial Intelligence (штучний інтелект)

ML - Machine Learning (машинне навчання)

GUI - Graphical User Interface (графічний інтерфейс користувача)

API - Application Programming Interface (інтерфейс програмування додатків)

TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol (протокол передачі даних/інтернет-протокол)

## ВСТУП

Моніторинг ґрунту відіграє вирішальну роль у сільському господарстві, оскільки він дає цінну інформацію про здоров'я та родючість ґрунту, допомагає фермерам приймати обґрунтовані рішення та сприяє сталим методам ведення сільського господарства. Традиційні методи моніторингу ґрунтів часто передбачають ручний відбір проб і лабораторний аналіз, які вимагають багато часу, праці та надають обмежені просторові та часові дані.

В останні роки інтелектуальні системи моніторингу ґрунту стали багатообіцяючим рішенням для подолання обмежень традиційних методів. Ці системи використовують передові технології, такі як сенсорні мережі, Інтернет речей (IoT) і аналіз даних, щоб збирати дані високої роздільної здатності в режимі реального часу про різні параметри ґрунту. Завдяки інтеграції цих технологій інтелектуальні системи моніторингу ґрунту пропонують кілька переваг, зокрема:

**Покращений збір даних:** інтелектуальні системи моніторингу ґрунту дозволяють безперервно й автоматизовано збирати дані, надаючи величезну кількість інформації про ключові параметри ґрунту, такі як вміст вологи, температура, рівень поживних речовин, рН і солоність. Ці дані в реальному часі дозволяють фермерам відстежувати зміни та тенденції, виявляти потенційні проблеми та вчасно втручатися.

**Точне землеробство:** шляхом точного моніторингу стану ґрунту на гранульованому рівні інтелектуальні системи сприяють точному землеробству. Фермери можуть оптимізувати розподіл ресурсів, таких як вода, добрива та пестициди, на основі даних щодо ґрунту на певній ділянці. Цей цілеспрямований підхід мінімізує відходи, зменшує вплив на навколишнє середовище та максимізує врожайність і якість.

**Підтримка прийняття рішень:** дані, зібрані інтелектуальними системами моніторингу ґрунту, можна обробляти та аналізувати за допомогою вдосконалених алгоритмів і методів аналізу даних. Це дає змогу генерувати корисну інформацію та

інструменти підтримки прийняття рішень для фермерів. Вони можуть отримати доступ до рекомендацій щодо планування зрошення, управління поживними речовинами, вибору культур і профілактики хвороб, що веде до підвищення продуктивності та прибутковості.

Стійкість і збереження навколишнього середовища: сприяючи ефективному управлінню ресурсами, інтелектуальні системи моніторингу ґрунту сприяють сталим сільськогосподарським практикам. Точний моніторинг і контроль параметрів ґрунту мінімізує ризик надмірного використання води та добрив, зменшуючи забруднення води та стік поживних речовин. Крім того, оптимізовані методи зрошення зберігають водні ресурси, пом'якшують ерозію ґрунту та зберігають здоров'я екосистеми.

Довгострокова оцінка здоров'я ґрунту: безперервний моніторинг параметрів ґрунту дозволяє довгостроково оцінювати стан ґрунту та тенденції родючості. Відстежуючи зміни ґрунтових умов з часом, фермери можуть впроваджувати відповідні стратегії збереження ґрунту, плани сівозміни та методи відновлення ґрунту. Цей проактивний підхід підтримує довгострокову продуктивність і сталість сільськогосподарських угідь.

Підсумовуючи, інтелектуальні системи моніторингу ґрунту є значним прогресом у сільськогосподарських технологіях, пропонуючи дані в реальному часі, можливості точного землеробства, підтримку прийняття рішень та переваги сталого розвитку. Вирішуючи проблеми традиційних методів моніторингу ґрунту, ці системи дають змогу фермерам оптимізувати управління ресурсами, підвищити продуктивність і сприяти охороні навколишнього середовища. У наступних розділах цієї публікації детальніше буде розглянуто розробку, впровадження та оцінку інтелектуальних систем моніторингу ґрунтів, висвітлюючи їхнє потенційне застосування та майбутні напрямки в галузі сільського господарства.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Аналіз предметної області

Моніторинг ґрунту відіграє вирішальну роль у багатьох сферах. У сільському господарстві моніторинг ґрунту дозволяє визначити його плодючість та властивості, що впливають на врожайність сільськогосподарських культур. І це дозволяє сільськогосподарським підприємствам раціонально використовувати ресурси та оптимізувати агротехніку. В екології моніторинг ґрунту дозволяє визначити вплив антропогенних чинників на екосистеми та вчасно реагувати на можливі зміни у стані ґрунтів для збереження біорізноманіття. Для землевпорядкування та будівництва дослідження структури та властивостей ґрунтів є важливим етапом при будівництві, що дозволяє визначити необхідні інженерні заходи для забезпечення безпеки споруд. При управлінні водними ресурсами моніторинг ґрунту допомагає визначити водопроникність та здатність ґрунтів утримувати вологу для ефективного управління водними ресурсами та запобігання затопленням. Для вирішення завдання контролю забруднення моніторинг дозволяє виявляти зміни в хімічному складі ґрунту, а також вчасно виявляти та контролювати забруднення ґрунтів важкими металами, хімічними речовинами та іншими забруднюючими речовинами. При дослідженні кліматичних змін моніторинг ґрунту також є важливим для вивчення його ролі у вуглецевому циклі та впливу на кліматичні зміни.

Отже, моніторинг ґрунту є важливим інструментом для сталого використання природних ресурсів, збереження довкілля та підтримання екосистемного балансу [1].

## 1.2 Огляд літератури

Продовольча та сільськогосподарська організація ООН стверджує, що в 2050 році населення світу зросте ще на 2 мільярди, тоді як на той час збільшена площа землі для сільського господарства становитиме лише 4%. У вищезазначеній ситуації

необхідно досягти більш узгоджених методів вирощування, використовуючи сучасні технологічні досягнення та усунувши існуючі перешкоди у сільському господарстві. Постійне використання штучного інтелекту та його підмножин у сільському господарстві може служити втіленням зміни способу ведення сільського господарства в даний час. Сільськогосподарська сфера стикається з незліченними перешкодами, наприклад, хворобами, неправильним аналізом ґрунту, зараженням шкідниками, зрошенням, недостатнім дренажем і багатьма іншими. Ці виклики призводять до небезпечної екологічної небезпеки та інтенсивної втрати врожаю в результаті використання надлишкових хімікатів. Сфера штучного інтелекту разом із його ретельними здібностями до навчання розвинулася, щоб сформувати ключовий підхід до вирішення різноманітних проблем, пов'язаних із сільським господарством.

У роботі [2] наголошується на застосуванні методів штучного інтелекту в різних областях сільськогосподарської науки, галузевих ідеях і викликах впровадження штучного інтелекту в сільському господарстві.

У більшості країн сільське господарство відіграє важливу роль, і цей сектор має стати «розумним». Тому знання щодо ґрунту мають великий вплив на розвиток сільського господарства. Існує багато типів ґрунтів, і кожен тип ґрунту має різні якості. Глибокі знання про умови ґрунту дають змогу отримати різноманітну інформацію про ґрунт, якою можна обробити, щоб отримати кращі врожаї. Машинне навчання є трендовою технологією, яка допомагає в сільському господарстві досягти точності та дає рішення для проблеми врожайності. У статті [3] детально досліджуються різні концепції машинного навчання для системи Smart Agriculture на основі IoT.

Сільське господарство на основі IoT-Machine Learning є наступним еволюційним кроком у розумному сільському господарстві та розумному землеробстві. Застосування алгоритмів машинного навчання до даних, отриманих із різних вхідних даних із ферм за допомогою сільськогосподарського Інтернету речей, може зробити систему розумнішою та надавати точну інформацію та робити прогнози. У дослідженні [4] проаналізовано існуючі програми машинного навчання в сільському господарстві, від процесу до результатів, кожна з яких має свої сильні

та слабкі сторони.

У дослідженні [5] наведені переваги технологій комп'ютерного зору для класифікації врожайності овочів на основі їх колірних особливостей, для виявлення, ідентифікації та боротьби з бур'янами загального призначення, тощо.

Тенденції в області штучного інтелекту, робототехніка, пристрої Інтернету речей (IoT) і проблеми машинного навчання, а також функції машинного навчання, штучного інтелекту та датчиків у сільському господарстві детально описуються в [6].

Стаття [7] є комплексним оглядом застосування різних алгоритмів машинного навчання в аналітиці даних датчиків у сільськогосподарській екосистемі.

По результатах дослідження було виявлено, що використання бездротових сенсорних мереж, Інтернету речей, робототехніки, безпілотників та штучного інтелекту знаходиться на підйомі. Алгоритми машинного навчання дозволяють отримувати корисну інформацію та ідеї з потоку даних. Методи машинного навчання використовуються дослідниками протягом останніх двох років у поєднанні з бездротовими сенсорними мережами.

Однак, розробка інтелектуальних систем моніторингу ґрунту включає в себе ряд технічних, екологічних та наукових проблем:

Вибір та розміщення сенсорів може бути складним завданням, оскільки різні регіони можуть вимагати різних типів сенсорів для збору різних параметрів ґрунту.

Розробка надійних та стійких систем передачі даних у реальному часі через бездротовий канал може бути викликом, особливо в умовах обмежень ресурсів та навколишніх перешкод.

Збір великої кількості даних може вимагати потужних алгоритмів обробки та аналізу.

Важливо правильно вибрати параметри ґрунту для моніторингу, оскільки це визначається потребами конкретної сфери (сільське господарство, екологія, будівництво) та може впливати на вартість та складність системи.

Зміни в середовищі, атмосферних умовах чи знос сенсорів можуть впливати на точність вимірювань та стійкість системи.

### 1.3 Постановка проблеми

Наведені аспекти обумовили проблеми, які необхідно вирішити:

Невизначеність у виборі та розміщенні сенсорів для збору комплексних даних про фізико-хімічні параметри ґрунту.

Визначення найбільш важливих параметрів ґрунту для врахування в алгоритмах машинного навчання.

Метою даної роботи є розробка інтелектуальної системи моніторингу ґрунту, включаючи сенсори, бездротовий зв'язок, засоби збору та передачі даних для підвищення точності та ефективності агроекологічного аналізу

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати ключові завдання:

- проаналізувати існуючі підходи для застосування штучного інтелекту у сільському господарстві;
- визначити методи аналізу даних, які є найкращим варіантом для вирішення поставленої задачі;
- розробити структуру інтелектуальної системи моніторингу ґрунту.

Очікуваними результатами є розробка прототипу інтелектуальної системи моніторингу ґрунту, яка забезпечить високу точність збору, обробки та аналізу даних, та ефективне використання отриманих результатів для оптимізації сільського господарства та збереження довкілля.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ҐРУНТУ

Системи інтелектуального моніторингу ґрунту (ISM) використовують безліч технологічних компонентів і методологій, щоб надавати в режимі реального часу точну та дієву інформацію про здоров'я ґрунту, рівень вологості, вміст поживних речовин та інші важливі параметри. У цьому розділі розглядаються технологічні основи, які лежать в основі ISM, охоплюючи апаратні компоненти, сенсорні технології, методи збору даних, протоколи зв'язку та архітектури програмного забезпечення.

### 2.1 Передові сенсорні технології

Сучасні сенсорні технології відіграють ключову роль у сучасних системах моніторингу ґрунту, забезпечуючи процес збору даних, аналізу та прийняття рішень у реальному часі. Ці датчики призначені для фіксації різних параметрів ґрунту, таких як вміст вологи, температура, рівень рН, концентрація поживних речовин і мікробна активність, серед іншого, з високою точністю, точністю та надійністю. У цьому розділі розглядаються ключові досягнення, принципи та застосування передових сенсорних технологій у контексті інтелектуальних систем моніторингу ґрунту.

Датчики температури ґрунту використовуються для вимірювання температури ґрунту. Зазвичай їх розміщують на різній глибині, щоб контролювати коливання температури на різних рівнях. Дані про температуру ґрунту допомагають визначити оптимальні умови посіву та росту культур, а також оцінити ризик заморозків або теплового стресу. Використовуйте терморезистори, термістори або напівпровідникові датчики для моніторингу температури ґрунту, рівня вологості та теплових властивостей, підтримуючи адаптивне управління температурою, контроль мікроклімату та ініціативи з екологічної стійкості.



Рисунок 2.1 – Датчик температури ґрунту

Датчики вологості ґрунту використовують принципи ємності, опору або рефлектометрії у часовій області (TDR) для вимірювання вмісту води в ґрунті на різних глибинах і в різних місцях, забезпечуючи точне управління зрошенням, збереження води та стратегії пом'якшення посухи.



Рисунок 2.2– Датчик вологості ґрунту FC-28

Датчики рН ґрунту та поживних речовин використовують електрохімічні, оптичні чи іоноселективні електродні методи для оцінки рівня рН ґрунту, концентрації поживних речовин (N, P, K тощо) і рівнів солоності, сприяючи оптимальному управлінню поживними речовинами, підвищенню родючості ґрунту та оптимізація врожайності.



Рисунок 2.3 – Датчики поживних речовин



Рисунок 2.4 – Датчик рН

Спектроскопія ближнього інфрачервоного діапазону (NIRS) використовує довжини хвиль ближнього інфрачервоного діапазону для аналізу органічної речовини ґрунту, вмісту вологи та рівнів поживних речовин на основі моделей поглинання, пропонуючи швидкі, неруйнівні можливості визначення характеристик ґрунту.

Датчики дихання ґрунту вимірюють викиди  $\text{CO}_2$  з поверхні ґрунту, надаючи інформацію про активність мікроорганізмів, швидкість розкладання органічної речовини та динаміку здоров'я ґрунту.

Датчики летких органічних сполук (VOC) виявляють специфічні органічні сполуки, що виділяються з ґрунту, наприклад етилен або метан, що вказує на біогеохімічні процеси, забруднення або кругообіг поживних речовин.

Датчики газу та летких органічних сполук застосовуються напівпровідникові металооксидні (MOS), фотоіонізаційні детектори (PID) або методи інфрачервоної

спектроскопії для виявлення летких органічних сполук (VOC), парникових газів (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) і інтенсивності дихання ґрунту, що забезпечує викиди. моніторинг, оцінка поглинання вуглецю та стратегії пом'якшення наслідків зміни клімату.



Рисунок 2.5 – Датчик солоності

Інтеграція IoT виконує роль занурення передових сенсорних технології з платформами Інтернету речей (IoT), протоколами бездротового зв'язку (Wi-Fi, LoRaWAN, NB-IoT) і хмарними рішеннями аналітики даних для полегшення моніторингу в реальному часі, дистанційного зондування та даних керовані процесами прийняття рішень у сільськогосподарських екосистемах.

Бездротові сенсорні мережі (WSN) розгортає бездротові сенсорні мережі, сітчасті мережі або супутникові системи зв'язку для встановлення безперебійного підключення, сумісності та обміну даними між різнорідними датчиками, приводами, системами керування та зацікавленими сторонами в рамках інтелектуальних інфраструктур моніторингу ґрунту.

Використання аналітики великих даних, алгоритми машинного навчання (регресійний аналіз, кластеризація, класифікація, нейронні мережі) і методи прогнозного моделювання для аналізу великомасштабних наборів даних моніторингу ґрунтів, отримання корисної інформації та оптимізації агрономічних практик, розподілу ресурсів і операційна ефективність.

Граничні обчислення використовуються для впровадження архітектури периферійних обчислень, парадигми туманних обчислень або розподілені обчислювальні структури для обробки, аналізу та інтерпретації даних датчиків локально в джерелі, зменшуючи затримку, вимоги до пропускну здатності та

споживання енергії, одночасно підвищуючи безпеку даних, конфіденційність і надійність.

Сучасні сенсорні технології є наріжним каменем у розробці, розгортанні та оптимізації інтелектуальних систем моніторингу ґрунту, сприяючи інноваціям, стійкості та стійкості в сучасному сільському господарстві. Застосовуючи передові сенсорні технології, стратегії інтеграції, методології аналізу даних і ідеї на основі штучного інтелекту, дослідники, практики та зацікавлені сторони можуть розблокувати трансформаційні досягнення, культивувати синергетичні рішення та сприяти стійкому сільському господарству, екологічному захисту та глобальним ініціативам у сфері продовольчої безпеки. у планетарному масштабі.

## 2.2 Системи збору даних

Методи об'єднання датчиків об'єднують дані з кількох датчиків (наприклад, датчиків вологи, температури, поживних речовин) за допомогою алгоритмів об'єднання датчиків і моделей машинного навчання для отримання зведених індексів здоров'я ґрунту, прогнозованої аналітики та можливостей виявлення аномалій.

Гіперспектральні камери використовують методи гіперспектральних зображень для захоплення детальних спектральних характеристик зразків ґрунту, сприяючи вдосконаленій класифікації ґрунтів, мінералогічному аналізу та виявленню забруднень із високою просторовою роздільною здатністю та спектральною точністю.

Системи збору даних є фундаментальними компонентами інтелектуальних інфраструктур моніторингу ґрунту, що охоплюють різноманітне обладнання, програмне забезпечення, комунікаційні протоколи та інтеграційні структури, призначені для безперебійного, ефективного та надійного збору, передачі, зберігання й аналізу даних. У цьому розділі розглядаються ключові аспекти, функціональні можливості та вдосконалення систем збору даних, розроблених для програм інтелектуального моніторингу ґрунту.

Система використовує різні методології збору даних, такі як постійний моніторинг або періодичний відбір проб, залежно від конкретних вимог і характеристик параметрів ґрунту, що вимірюються. Безперервний моніторинг дозволяє збирати дані в реальному часі, тоді як періодична вибірка передбачає збір даних через певні проміжки часу. Частота вибірки визначає, як часто дані збираються з датчиків. Це залежить від таких факторів, як динаміка вимірюваного параметра ґрунту, швидкість зміни умов ґрунту та бажаний рівень роздільної здатності. Частота вибірки повинна досягати балансу між захопленням достатньої кількості точок даних і мінімізацією енергоспоживання або вимог до зберігання даних.

Використовуючи відповідні датчики ґрунту, стратегічно розміщуючи їх у ґрунті та впроваджуючи відповідні методології збору даних, інтелектуальна система моніторингу ґрунту забезпечує точний і своєчасний збір даних про ґрунт. Ці дані служать цінним ресурсом для аналізу стану ґрунту, оптимізації методів зрошення та внесення добрив, а також для прийняття обґрунтованих рішень для покращення управління ґрунтом і продуктивності сільськогосподарських культур. Масиви датчиків: розгортайте масиви з кількома датчиками, включаючи датчики вологості ґрунту, датчики рН, датчики температури, газові детектори та спектральні датчики, щоб фіксувати комплексні набори даних параметрів ґрунту, уможливіючи цілісну оцінку стану ґрунту, моніторинг навколишнього середовища та процеси прийняття агрономічних рішень. Реєстратори даних: використовуйте реєстратори даних, системи збору даних (DAQ) або вбудовані мікроконтролери (MCU) для збору, обробки та зберігання даних датчиків локально, сприяючи моніторингу в реальному часі, сповіщенням, що викликаються подіями, і стратегіям адаптивного керування в динамічному сільському господарстві. середовищ.

Платформи дистанційного зондування: використовуйте супутникові зображення, дрони або безпілотні літальні апарати (БПЛА), оснащені мультиспектральними, гіперспектральними або тепловими камерами, щоб знімати зображення ґрунту з високою роздільною здатністю, просторові дані та часову динаміку, підтримуючи класифікацію ґрунтового покриву, аналіз рослинності, та

ініціативи з боротьби з ерозією ґрунту. Системи SCADA: Впровадьте системи диспетчерського контролю та збору даних (SCADA), платформи промислового Інтернету речей (IIoT) або розподілені системи керування (DCS) для моніторингу, контролю та оптимізації операцій моніторингу ґрунту, продуктивності обладнання та використання ресурсів у великих масштабах. масштабні агроландшафти.

Хмарні обчислення. Використовуйте послуги хмарних обчислень, архітектури периферійних обчислень або гібридні хмарні рішення для сприяння масштабованому сховищу даних, аналітиці в реальному часі, алгоритмам машинного навчання та ініціативам спільних досліджень, забезпечуючи розуміння на основі даних, прогнозне моделювання та можливість підтримки прийняття рішень. Керування базами даних: використовуйте реляційні бази даних (SQL), бази даних NoSQL (MongoDB, Cassandra) або бази даних часових рядів (InfluxDB, TimescaleDB) для організації, керування та аналізу наборів даних моніторингу ґрунтів, історичних записів, просторових координат і метаданих, гарантуючи дані цілісність, доступність і взаємодію між різними платформами та програмами.

Системи збору даних служать основою інтелектуальних інфраструктур моніторингу ґрунту, сприяючи бездоганній інтеграції, сумісності та масштабованості різноманітних сенсорних технологій, протоколів зв'язку, програмних рішень і структур аналітики даних. Використовуючи інноваційні апаратні компоненти, програмні рішення, комунікаційні протоколи та стратегії інтеграції, дослідники, практики та зацікавлені сторони можуть розблокувати трансформаційні досягнення, культивувати синергетичні рішення та сприяти сталому сільському господарству, охороні навколишнього середовища та ініціативам глобальної продовольчої безпеки у планетарному масштабі.

### 2.3 Протоколи зв'язку

Мережа 5G використовується для наднадійного зв'язку з малою затримкою, що забезпечує потокову передачу даних у реальному часі, можливості периферійних

обчислень і покращену масштабованість мережі для широкомасштабного розгортання ISM.

Супутниковий зв'язок використовується для віддалених і важкодоступних сільськогосподарських регіонів, забезпечуючи постійний моніторинг ґрунту, глобальне покриття та доступність даних у різних географічних ландшафтах.

Комунікаційні протоколи є основними структурами, які керують обміном даними, командами та керуючими сигналами між взаємопов'язаними пристроями, датчиками, системами та зацікавленими сторонами в рамках інтелектуальних інфраструктур моніторингу ґрунту. У цьому розділі пояснюються ключові протоколи зв'язку, стандарти, архітектури та технології, які використовуються для забезпечення безперебійної, безпечної та ефективної передачі даних, інтеграції та взаємодії в сучасних сільськогосподарських екосистемах.

Wi-Fi (IEEE 802.11): використовуйте протоколи Wi-Fi для високошвидкісного бездротового зв'язку малого радіусу дії в межах локалізованих мереж моніторингу ґрунту, що забезпечує передачу даних у реальному часі, віддалений моніторинг і функції керування в контрольованих сільськогосподарських середовищах.

Bluetooth (IEEE 802.15.1): Використовуйте протоколи Bluetooth для малопотужного бездротового зв'язку між вузлами датчиків, мобільними пристроями та шлюзами, сприяючи безперебійній синхронізації даних, конфігурації та керуванню в системах моніторингу ґрунту з підтримкою IoT.

Zigbee (IEEE 802.15.4): реалізуйте протоколи Zigbee для бездротового зв'язку з низькою швидкістю передачі даних, низьким енергоспоживанням і великим радіусом дії у масштабних системах моніторингу ґрунту, підтримуючи сітчасту мережу, сумісність пристроїв і енергоефективну роботу в масштабних мережах агроландшафти.

LoRaWAN: розгортайте протоколи LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) для бездротового зв'язку великої дальності, з низьким енергоспоживанням і масштабованим бездротовим зв'язком у сільській місцевості, віддалених або важкодоступних сільськогосподарських районах, забезпечуючи розширене

покриття, глибоке проникнення та надійне підключення для програм моніторингу ґрунту.

**NB-IoT (вузькосмуговий IoT):** використовуйте технології NB-IoT для широкомасштабного, малопотужного та надійного стільникового зв'язку в міських, приміських або приміських сільськогосподарських середовищах, підтримуючи розширене покриття, підключення та сумісність із існуючими стільниковими мережами. .

**LTE-M (Long-Term Evolution for Machines):** реалізуйте технології LTE-M для високошвидкісного, малозатримкового та безпечного стільникового зв'язку в розширених системах моніторингу ґрунту, що забезпечує аналіз даних у реальному часі, міжмашинний зв'язок, і функції дистанційного керування в динамічних сільськогосподарських екосистемах.

**Супутниковий IoT:** використовуйте системи супутникового зв'язку, такі як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), геостаціонарні супутники або сузір'я супутників на низькій навколосемній орбіті (LEO), щоб забезпечити повсюдне, стійке та глобальне покриття для програм моніторингу ґрунту у віддалених, ізольованих, або важкодоступні сільськогосподарські регіони.

**Рішення проміжного програмного забезпечення:** впроваджуйте рішення проміжного програмного забезпечення, шлюзи або конвертери протоколів, щоб полегшити бездоганну інтеграцію, взаємодію та обмін даними між різнорідними протоколами зв'язку, пристроями, платформами та зацікавленими сторонами в рамках інфраструктур інтелектуального моніторингу ґрунту.

**Стандартизація та відповідність:** дотримуйтеся галузевих стандартів, нормативних вимог і протоколів зв'язку, таких як MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, WebSockets або OPC UA, щоб забезпечити сумісність, безпеку та відповідність різноманітним програмам моніторингу ґрунту, екосистемам і зацікавленим сторонам.

**Комунікаційні протоколи** служать стрижнею в інфраструктурах інтелектуального моніторингу ґрунту, забезпечуючи безперебійну, безпечну та ефективну передачу даних, інтеграцію та взаємодію між різними пристроями,

технологіями та зацікавленими сторонами. Застосовуючи інноваційні протоколи бездротового зв'язку, стільникові технології, супутникові системи та стратегії інтеграції, дослідники, практики та зацікавлені сторони можуть розблокувати трансформаційні досягнення, культивувати синергетичні рішення та сприяти сталому сільському господарству, охороні навколишнього середовища та ініціативам глобальної продовольчої безпеки у планетарному масштабі.

## 2.4 Програмні рішення

Розробка алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання використовується для аналізу складних наборів даних про ґрунт, виявлення закономірностей, кореляцій та прогнозних зв'язків між параметрами ґрунту, факторами навколишнього середовища та результатами сільського господарства, що дозволяє створювати адаптивні стратегії управління ґрунтом, точне землеробство та розумні системи зрошення.

Інструменти візуалізації ґрунту в AR/VR інтегруються для створення платформ візуалізації ґрунту з ефектом занурення, що дозволяє зацікавленим сторонам досліджувати 3D-моделі ґрунту, симулювати сценарії землеустрою та інтерактивно аналізувати показники здоров'я ґрунту, сприяючи розширеним можливостям прийняття рішень, залученню зацікавлених сторін та освітні ініціативи.

## 2.5 Інтеграція кіберфізичних систем та IoT

Кіберфізична інтеграція виконується за рахунок об'єднання пристроїв моніторингу ґрунту з підтримкою Інтернету речей і кіберфізичні системи (CPS), щоб створити інтелектуальні сільськогосподарські платформи, здатні здійснювати моніторинг у реальному часі, автоматизоване прийняття рішень і механізми адаптивного контролю на основі динамічних умов ґрунту, погодних умов, і вимоги до врожаю.

Контекстно-залежний моніторинг ґрунту виконується за рахунок інтеграції методів об'єднання датчиків із контекстно-залежними обчислювальними парадигмами, щоб увімкнути системи моніторингу ґрунту, які динамічно адаптуються до змін навколишнього середовища, етапів фенології культур, градієнтів вологості ґрунту та динаміки поживних речовин, забезпечуючи оптимізований розподіл ресурсів, енергоефективність та екологічна стійкість.

## 2.6 Керування живленням

Датчики ґрунту на сонячних батареях представляють собою стійке та енергоефективне рішення для автономного моніторингу ґрунту у віддалених сільськогосподарських середовищах або середовищах з обмеженими ресурсами. У цьому розділі розглядаються ключові принципи проектування, компоненти та стратегії, які використовуються для розробки датчиків ґрунту на сонячних батареях, наголошуючи на енергоефективності, збільшеному часі розгортання та зменшених вимогах до обслуговування.

Компоненти датчиків ґрунту на сонячних батареях:

Сонячні панелі: використовуйте високоефективні сонячні панелі для захоплення та перетворення сонячного світла в електричну енергію. Ці панелі розроблені таким чином, щоб витримувати умови навколишнього середовища та оптимізувати збір енергії, забезпечуючи постійне джерело живлення для ґрунтових датчиків.

Енергоефективні сенсорні вузли: розробляйте сенсорні вузли з компонентами з наднизьким енергоспоживанням, включаючи датчики вологості ґрунту, датчики рН і датчики температури. Використовуйте передові технології, такі як MEMS (мікроелектромеханічні системи), щоб мінімізувати потреби в енергії під час збору даних.

Мікроконтролери з режимами низького енергоспоживання: виберіть мікроконтролери, які підтримують режими низького енергоспоживання, що дозволяє сенсорним вузлам працювати в енергозберігаючих режимах сну, коли вони

не збирають або не передають дані. Це підвищує загальну енергоефективність і подовжує термін служби акумулятора.

Схема збору енергії: запровадьте схему збору енергії для ефективного керування та зберігання енергії, виробленої сонячними панелями. Це включає в себе контролери заряду, системи керування живленням і накопичувачі енергії, такі як акумулятори або суперконденсатори.

Комунікаційні модулі: виберіть комунікаційні модулі, такі як LoRa або NB-IoT, оптимізовані для низького енергоспоживання. Впроваджуйте протоколи зв'язку, які забезпечують ефективну передачу даних, мінімізуючи споживання енергії, особливо в періоди обмеженого сонячного світла.

Стратегії управління живленням:

Цикли сну/пробудження: використовуйте інтелектуальні цикли сну/пробудження, коли сенсорні вузли переходять у режим сну з низьким енергоспоживанням між інтервалами збору даних. Це зменшує загальне споживання електроенергії під час періодів бездіяльності, подовжуючи термін експлуатації.

Адаптивна вибірка: реалізуйте адаптивні алгоритми вибірки, які регулюють частоту збору даних на основі умов середовища або конкретних подій. Це забезпечує ефективний розподіл енергії, зосереджуючись на критичних періодах або змінах параметрів ґрунту.

Динамічний розподіл потужності. Використовуйте стратегії динамічного розподілу потужності, які визначають пріоритет споживання енергії на основі важливості отриманих даних. Наприклад, віддайте пріоритет передачі критичних даних над менш чутливою до часу інформацією, щоб оптимізувати енергоспоживання.

Вплив на навколишнє середовище:

Вибір матеріалів: вибирайте екологічно чисті матеріали для конструкції сенсорного вузла, враховуючи можливість вторинної переробки та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Застереження щодо завершення терміну експлуатації: розробляйте датчики з урахуванням переробки чи належної утилізації після закінчення терміну служби, щоб мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Локалізоване виробництво: сприяйте локалізованому виробництву, щоб зменшити вуглецеві сліди, пов'язані з транспортуванням, і підтримати регіональну економіку.

Конструкція датчиків ґрунту на сонячних батареях ґрунтується на принципах енергоефективності, довговічності та мінімального впливу на навколишнє середовище. Завдяки об'єднанню високоефективних сонячних панелей, енергоефективних сенсорних вузлів, передових мікроконтролерів і інтелектуальних стратегій керування живленням ці датчики забезпечують стійке рішення для автономного моніторингу ґрунту, сприяючи вдосконаленій сільськогосподарській практиці та збереженню ресурсів у віддалених або складних середовищах.

## 2.7 Розширені заходи безпеки

Наскрізне шифрування використовує надійні алгоритми шифрування, безпечні протоколи зв'язку та криптографічні методи, щоб захистити конфіденційні дані ґрунту, особисту інформацію та власні алгоритми від несанкціонованого доступу, витоку даних, кібератак і зловмисних дій.

Диференціальна конфіденційність і гомоморфне шифрування реалізує методи аналізу даних, що зберігають конфіденційність, наприклад диференціальну конфіденційність і гомоморфне шифрування, щоб сприяти безпечному анонімному обміну даними, спільним дослідженням і залученню зацікавлених сторін без шкоди правам особи на конфіденційність, конфіденційності даних або захисту інтелектуальної власності.

Наскрізне шифрування є критично важливим аспектом забезпечення безпеки та конфіденційності конфіденційних даних про ґрунт в інтелектуальних системах моніторингу ґрунту. У цьому розділі розглядаються принципи та методи впровадження надійного наскрізного шифрування для захисту даних ґрунту,

особистої інформації та власних алгоритмів від несанкціонованого доступу, кіберзагроз і витоку даних.

#### Основні компоненти наскрізного шифрування

Надійні алгоритми шифрування: використовуйте передові алгоритми шифрування, такі як AES (Advanced Encryption Standard) або RSA (Rivest–Shamir–Adleman), щоб захистити дані ґрунту в стані спокою та під час транспортування. Ці алгоритми гарантують, що дані шифруються таким чином, що обчислювально неможливо розшифрувати без відповідних криптографічних ключів.

Захищені протоколи зв'язку: використовуйте безпечні протоколи зв'язку, такі як HTTPS (захищений протокол передачі гіпертексту), для передачі даних через мережі. Це гарантує, що дані, якими обмінюються датчики ґрунту, вузли та центральні сервери, зашифровані, запобігаючи підслухуванню та атакам типу "людина посередині".

Криптографічні методи: застосовуйте криптографічні методи, включаючи хешування та цифрові підписи, для перевірки цілісності даних і автентифікації кінцевих точок зв'язку. Ці методи додають додатковий рівень безпеки, гарантуючи, що дані залишаються незмінними та походять із законних джерел.

#### Диференційна конфіденційність і гомоморфне шифрування

Диференційована конфіденційність: інтегруйте методи диференційованої конфіденційності для анонімізації окремих точок даних, що ускладнює відстеження певних даних до окремих датчиків ґрунту або користувачів. Це гарантує, що зведені дані можна використовувати для аналізу без шкоди для конфіденційності окремих учасників.

Гомоморфне шифрування: реалізуйте гомоморфне шифрування, що дозволяє виконувати обчислення із зашифрованими даними без необхідності дешифрування. Це дає змогу безпечно аналізувати дані та проводити спільне дослідження без розкриття необроблених незашифрованих даних, забезпечуючи збереження конфіденційності протягом усього аналітичного процесу.

#### Аналіз даних із збереженням конфіденційності

Безпечний анонімний обмін даними: увімкніть безпечний та анонімний обмін даними між зацікавленими сторонами, дослідниками та співробітниками, сприяючи спільним ініціативам, не розкриваючи конфіденційну інформацію про окремі ферми чи місця моніторингу ґрунту.

Залучення зацікавлених сторін без шкоди для конфіденційності: реалізуйте методи збереження конфіденційності, які дозволяють зацікавленим сторонам надавати цінні дані, не розголошуючи конфіденційну інформацію. Це заохочує ширшу участь і обмін знаннями без шкоди для захисту інтелектуальної власності.

Заходи кібербезпеки: запровадьте додаткові заходи кібербезпеки, такі як системи виявлення вторгнень, безпечний контроль доступу та регулярні аудити безпеки, щоб захистити системи моніторингу ґрунту від кіберзагроз і спроб несанкціонованого доступу.

Автентифікація та авторизація користувачів: використовуйте надійні механізми автентифікації користувачів і протоколи авторизації, щоб гарантувати, що лише авторизовані користувачі мають доступ до конфіденційних даних про ґрунт, запобігаючи використанню вразливості неавторизованими особами.

Наскрізне шифрування в поєднанні з такими методами збереження конфіденційності, як диференціальна конфіденційність і гомоморфне шифрування, формує надійну структуру безпеки для інтелектуальних систем моніторингу ґрунту. Використовуючи ці методи, даними про ґрунт можна безпечно керувати, обмінюватися ними та аналізувати, сприяючи співпраці, одночасно захищаючи особисту конфіденційність, цілісність даних та інтелектуальну власність

## 2.8 Використання систем комп'ютерного зору в сільському господарстві

Долучення системи машинного [5] зору до техніки сільського господарства набирає все більшої популярності, машинний зір стає більш доступним і знаходиться в стадії зростання, особливо на борту сільськогосподарської техніки, незалежно від автономної техніки або ще з механізатором [9]. Системи розпізнавання образів для сільськогосподарської техніки можуть виконувати безліч

завдань, на допомогу сільському господарстві. Вони виконують такі завдання як: виявлення рядів посівів культур, розрізнення сільськогосподарських культур від бур'янів, ґрунту, каміння та сміття, можуть допомагати водію більш точно дотримуватися траєкторії водіння, проводити моніторинг зрілості плодів.

Спільно з прогресом, підсистеми машинного зору або розпізнавання образів стають обов'язковими у транспортних засобах. Такі модулі дуже корисні для допомоги водіям у неавтономних транспортних засобах як у сільському господарстві, так і у звичайному житті. Потрібно враховувати той факт, що системи машинного зору для сільськогосподарської техніки працюють не в найсприятливіших умовах для роботи із зображенням і іноді можуть помилятися.

Ідентифікація культур та бур'янів, виявлення рядів посівів на даний момент є основними завданнями у точному землеробстві. В даний час нові технічні досягнення дозволяють використовувати системи комп'ютерного зору навіть на безпілотних літальних апаратах, які також можна використовувати в сільському господарстві, і зараз на це звернуто велику увагу [10].

Основна частина систем машинного зору, які використовують у сільському господарстві, використовують методи обробки зображення для того, щоб виявити на них певні спектральні ознаки. Вегетаційні індекси (індекси рослинності) дозволяють знаходити і працювати зі спектральними ознаками через поєднання кількох або зазвичай двох спектральних смуг, на основі відбивних властивостей зеленої рослинності. Так як зображення складаються з трьох кольорних каналів, а саме: червоного, зеленого і синього, тоді мета полягає в тому, щоб посилити якийсь один із кольорів, для посилення тих спектральних ознак, які становлять інтерес [11-13]. Виходячи з вищесказаного, можна зрозуміти, що якщо на зображенні потрібно відокремити смуги посівів сільськогосподарських культур, бур'яни, листя або іншої зеленої рослинності, тоді спектральні ознаки зеленого кольору повинні бути збільшені. Якщо на зображенні цікавить ґрунт для визначення будь-яких його характеристик, тоді значення смуги червоного кольору мають бути збільшені. У зв'язку з цим, якщо інтерес представляє зелений колір, значення смуги G повинні бути збільшені, коли інтерес представляє сегментація ґрунту, значення смуги R

повинні бути збільшені, надлишок зеленого та надлишок червоного є двома добре відомими показниками для таких цілей [14].

На даний момент практично у всіх камерах використовуються датчики зображення CCD (прилад із зарядним зв'язком) або CMOS (кмоп-технологія). CCD є аналоговим датчиком, незважаючи на дискретність світлочутливої структури. Коли світло потрапляє на матрицю, у кожному пікселі накопичується заряд або пакет електронів, який перетворюється при зчитуванні на навантаженні в напругу відеосигналу, пропорційне освітленості пікселів. Мінімальна кількість проміжних переходів цього заряду та відсутність активних пристроїв забезпечують високу ідентичність чутливих елементів CCD. CMOS-матриця є цифровим пристроєм із активними чутливими елементами (Active Pixel Sensor). З кожним пікселем працює свій підсилювач, що перетворює заряд чутливого елемента на напругу. Це дозволяє практично індивідуально керувати кожним пікселем [15].

Кількість електронів залежить від інтенсивності світла. Джерело світла випадково генерує фотони з часом. В ідеальному варіанті кожен фотон буде перетворено на електрон, таке перетворення регулюється фізичними законами. Але існують зовнішні впливи, які впливають на перетворення та генерують шум, такий як шум, що зчитує, викликаний операціями з електронами, шум обробки зображення камерою або шум темного струму (малий струм, який протікає через фотодетектор) все це призводить до відмінності між ідеальним уявленням і реальною ситуацією.

Кожен поглинений фотон утворює одну пару «електрон - дірка» і відповідний заряд, який накопичується в кожному пікселі пропорційно кількості падають фотонів. Накопичення та переміщення зарядів, що накопичуються протягом заданого інтервалу часу, здійснюється зовнішніми напругами, що прикладаються до електродів кожного пікселя. Спочатку кожен піксель фоточутливої матриці працює як потенційна яма для зберігання заряду в процесі його накопичення. І хоча в потенційній ямі можуть накопичуватися як негативно заряджені електрони, так і позитивно заряджені дірки (залежно від конструкції матриці ПЗЗ), елементи заряду, що створюються падаючим світлом, як правило, називають фотоелектронами.

Отриманий заряд називатиметься сигналом, а помилка, отримана при вимірі даного сигналу, буде називатися шумом зчитування, насправді шум зчитування може бути навіть за відсутності світлового сигналу на матриці камери. На наступному кроці значення сірого зображення виходить через перетворення сигналу, вираженого в електронах значення у пікселях. На даний момент виробники датчиків зображення надають дані про різницю між ідеальним значенням та реальною ситуацією, інформація надається в децибелах та визначається за формулою співвідношення сигналу до шуму. Зазвичай це значення становить 50-60 децибелів і легко визначається за допомогою відомих способів калібрування камери. Також існує ще одна характеристика, так званий абсолютний поріг чутливості, що говорить про мінімальне кількості фотонів, необхідних для того, щоб отримати сигнал, співвідносний з шумом, що генерується датчиком зображення. Якщо значення кількості фотонів нижче абсолютного порога чутливості, сигнал не видається. Коли можна порахувати щільність світла, за відомою формулою (кількість фотонів / площа поверхні мкм у квадраті) тоді відповідний датчик руху визначається за формулою (величина сигналу / шум).

В залежності від типу використовуваної системи датчиків, в якій використовується один датчик CCD або декілька, необхідно використовувати різні технології виготовлення камер. Зазвичай, якщо в камері використовується тільки одна ПЗС-матриця тоді розташування датчиків відоме і називається фільтром Байєра. Червоно-зелені та синьо-зелені пікселі розташовуються таким чином, щоб отримувати зображення у колірній схемі RGB. Фільтри кольорів: блакитний, пурпуровий, жовтий, також можуть використовуватися для отримання зображення в колірній схемі CMY. В даний час сучасні програмні засоби та методи легко дозволяють переходити від однієї колірної схеми до іншої [16].

### 3 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ ГРУНТОВИХ ДАНИХ

Аналіз даних про ґрунт є ключовим для розуміння характеристик ґрунту, оптимізації сільськогосподарських методів і забезпечення сталого управління земельними ресурсами. У цьому розділі глибше розглядаються конкретні методи, алгоритми та інструменти, призначені для аналізу ґрунтових даних, зосереджуючись на їх застосуванні, перевагах і обмеженнях.

#### 3.1 Система моніторингу та контролю

Системи керування замкнутим циклом об'єднують дані моніторингу ґрунту в реальному часі, прогнозну аналітику та автоматичні механізми керування (наприклад, зрошувальні клапани, дозатори поживних речовин) для створення чутливих, адаптивних рішень для управління ґрунтом, здатних динамічно оптимізувати ґрунт, параметри здоров'я, врожайність сільськогосподарських культур і показники використання ресурсів на основі змін умов навколишнього середовища, агрономічної практики та переваг зацікавлених сторін.

Передові технологічні основи систем інтелектуального моніторингу ґрунту включають передові інновації, методології та рішення, що охоплюють передові сенсорні технології, мультисенсорні інтеграційні платформи, протоколи зв'язку наступного покоління, хмарні та периферійні обчислювальні архітектури, а також складні програмні рішення, що використовують AI, ML, Технології AR і VR. Використовуючи ці передові технологічні парадигми, системи ISM можуть подолати традиційні межі, розблокувати безпрецедентну інформацію про динаміку здоров'я ґрунту та каталізувати трансформаційні досягнення у сталому сільському господарстві, екологічному опіку та ініціативах глобальної продовольчої безпеки, сприяючи гармонійній синергії між технологічними інноваціями, стійкістю екосистем, і добробуту людини в планетарному масштабі.

Інтелектуальні системи моніторингу ґрунту використовують синергетичну інтеграцію безпілотних літальних апаратів (БПЛА), наземних операцій і замкнутого циклу управління для створення карт високої роздільної здатності, точного землеробства та чутливого управління навколишнім середовищем. У цьому розділі розглядаються технологічні основи, переваги та трансформаційний вплив цих інтегрованих підходів у сфері сталого сільського господарства та охорони навколишнього середовища.

БПЛА та наземні операції з передовими датчиками. Картографування високої роздільної здатності: БПЛА, оснащені вдосконаленими датчиками та системами візуалізації, дозволяють картографувати характеристики ґрунту, топографію та індекси рослинності з високою роздільною здатністю. Наземні операції доповнюють ці повітряні дані вимірюваннями на землі, створюючи всебічне розуміння сільськогосподарського ландшафту.

Точне землеробство: інтегровані БПЛА та наземні операції підтримують точне землеробство, надаючи точні дані про стан ґрунту, здоров'я врожаю та розподіл поживних речовин. Ця інформація допомагає в цілеспрямованих втручаннях, таких як точне зрошення, внесення добрив і боротьба зі шкідниками, оптимізуючи використання ресурсів і мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Аналітичні можливості на основі ШІ: використання штучного інтелекту (ШІ) в аналітичних процесах розширює можливості БПЛА та наземних операцій. Алгоритми штучного інтелекту аналізують величезні набори даних, щоб надавати практичну інформацію, допомагаючи фермерам приймати обґрунтовані рішення щодо вирощування врожаю.

Системи управління замкнутим циклом. Дані наземного моніторингу в режимі реального часу: системи керування із замкнутим циклом використовують дані наземних операцій і БПЛА в режимі реального часу для постійного моніторингу здоров'я ґрунту, стану посівів і факторів навколишнього середовища. Ці дані формують основу для адаптивних стратегій управління.

Прогностична аналітика: інтеграція прогнозової аналітики дозволяє системі прогнозувати майбутні тенденції та потенційні проблеми на основі історичних

даних, погодних умов і агрономічних методів. Цей проактивний підхід дозволяє вживати превентивних заходів для оптимізації врожайності та використання ресурсів.

Автоматичне керування: автоматизація в замкнених системах поширюється на контроль наземних операцій, включаючи зрошувальні клапани та дозатори поживних речовин. Автоматичні відповіді запускаються на основі даних у реальному часі та прогнозованої аналітики, що забезпечує своєчасне та точне втручання.

Технологічні основи інтелектуального моніторингу ґрунтів. Передові сенсорні технології: система покладається на передові сенсорні технології для збору різноманітних даних про ґрунт і навколишнє середовище. Це включає датчики вологості ґрунту, спектральні датчики та кліматичні датчики, встановлені на БПЛА та наземних станціях.

Платформи інтеграції кількох датчиків: платформи інтеграції об'єднують дані з різних датчиків, забезпечуючи цілісне уявлення про систему ґрунт-рослина-довкілля. Цей мультисенсорний підхід підвищує точність і надійність моніторингу.

Протоколи зв'язку нового покоління: БПЛА, наземні станції та замкнуті системи спілкуються за допомогою протоколів наступного покоління, забезпечуючи швидку та безпечну передачу даних. Бездротові комунікаційні технології сприяють бездоганній інтеграції компонентів.

Архітектури хмарних і периферійних обчислень: хмарні та периферійні обчислення використовуються для зберігання, обробки та аналізу даних. Це сприяє масштабуванню, доступності та можливостям прийняття рішень у режимі реального часу в інтелектуальному моніторингу ґрунту.

Технології AI, ML, AR і VR: система використовує технології штучного інтелекту (AI), машинного навчання (ML), доповненої реальності (AR) і віртуальної реальності (VR), щоб обробляти великі набори даних, генерувати інформацію та надавати захоплюючі враження для зацікавлених сторін.

Трансформаційні досягнення в сільському господарстві та охороні довкілля

Завдяки інтеграції цих передових технологічних основ інтелектуальні системи моніторингу ґрунту долають традиційні кордони. Вони відкривають безпрецедентну інформацію про динаміку стану здоров'я ґрунту, оптимізацію використання ресурсів і каталізують трансформаційні досягнення в галузі сталого сільського господарства, охорони навколишнього середовища та ініціатив глобальної продовольчої безпеки. Ця гармонійна синергія між технологічними інноваціями, стійкістю екосистеми та добробутом людини розгортається у планетарному масштабі, сприяючи збалансованому та стійкому майбутньому.

### 3.2 Архітектура системи моніторингу ґрунту

Інтелектуальна система моніторингу ґрунту розроблена для ефективного збору, обробки та аналізу даних із датчиків ґрунту для ефективного управління ґрунтом у сільському господарстві. Архітектура системи складається з кількох ключових компонентів, які працюють разом, щоб забезпечити безперебійну роботу та точний моніторинг.

Система використовує різноманітні датчики ґрунту, стратегічно розміщені в ґрунті, щоб фіксувати важливі параметри ґрунту. Ці датчики можуть включати датчики вологи, температури, поживних речовин, рН і солоності. Вони постійно вимірюють відповідні властивості ґрунту та надають дані в реальному часі.

Блок збору даних служить інтерфейсом між датчиками ґрунту та центральним процесором. Він збирає необроблені дані з датчиків і виконує початкову попередню обробку, включаючи посилення сигналу, фільтрацію та аналого-цифрове перетворення. Цей пристрій забезпечує точну та надійну передачу даних на центральний процесор.

Система включає в себе (рис. 3.1) надійну комунікаційну інфраструктуру для передачі даних від блоку збору даних до центрального процесора. Це може включати протоколи бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth або Zigbee. Вибір комунікаційної технології залежить від таких факторів, як радіус дії, швидкість передачі даних, енергоспоживання та умови навколишнього середовища.

Центральний процесор є основним компонентом системи, який відповідає за обробку даних, аналіз і прийняття рішень. Він отримує оброблені дані від блоку збору даних і застосовує різні алгоритми та методи для аналізу, інтерпретації та візуалізації даних. Центральний процесор може складатися з мікроконтролера, вбудованої системи або більш потужного обчислювального пристрою, залежно від складності системи та її вимог до обчислень.

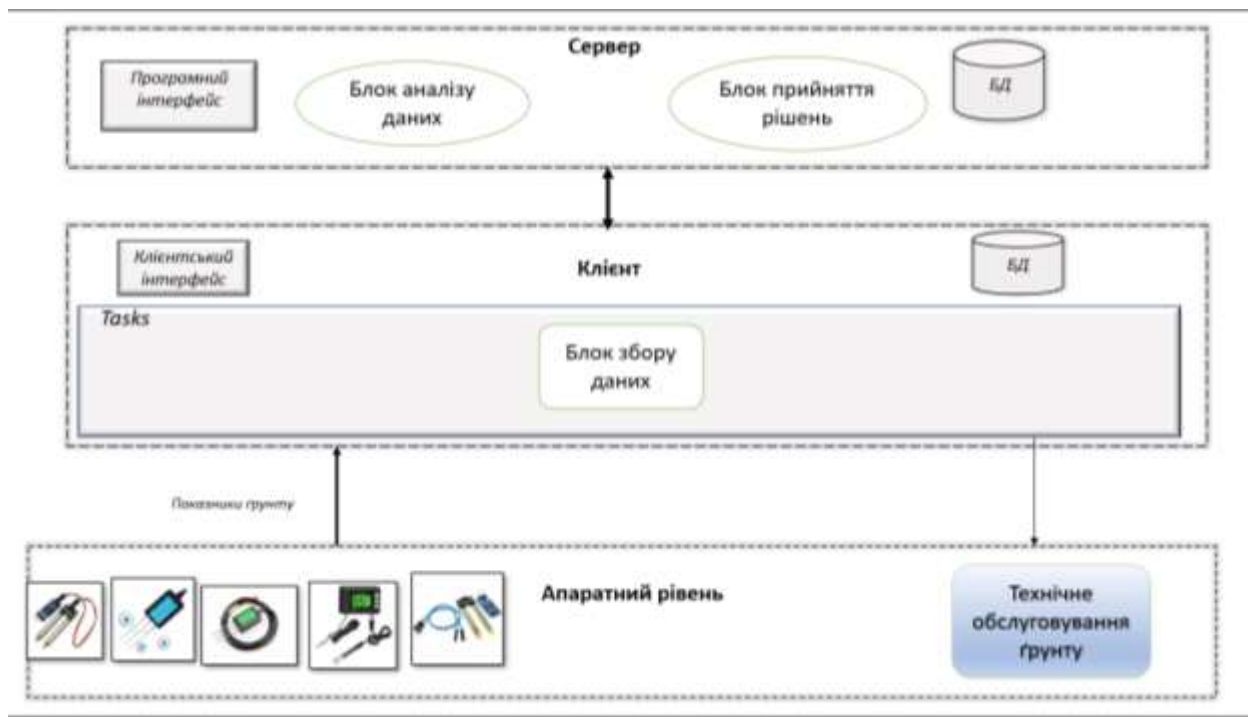


Рисунок 3.1 – Архітектура системи моніторингу ґрунту

Система містить базу даних або рішення для зберігання даних для зберігання зібраних даних про ґрунт. Це дозволяє аналізувати історичні дані, ідентифікувати тенденції та порівнювати поточні та минулі умови ґрунту. Належна практика керування даними забезпечує цілісність даних, доступність і масштабованість.

Компонент інтерфейсу користувача надає користувачам, наприклад фермерам або агрономам, засоби для взаємодії з системою. Це може бути графічний інтерфейс користувача (GUI), веб-панель або мобільний додаток. Інтерфейс користувача дозволяє користувачам візуалізувати дані про ґрунт, налаштовувати параметри системи, установлювати порогові значення та отримувати сповіщення або рекомендації на основі проаналізованих даних.

Для забезпечення безперервної роботи система потребує надійного джерела живлення. Цього можна досягти за допомогою різних засобів, таких як живлення від батареї, сонячні батареї або їх комбінація. Джерело живлення має бути сконструйовано таким чином, щоб відповідати енергетичним потребам компонентів системи та враховувати такі фактори, як енергоефективність і резервні варіанти.

Системна архітектура інтелектуальної системи моніторингу ґрунту розроблена таким чином, щоб бути масштабованою, адаптованою та зручною для користувача. Це дозволяє здійснювати моніторинг стану ґрунту в реальному часі, аналізувати дані та приймати обґрунтовані рішення в сільському господарстві. Завдяки інтеграції різних компонентів і технологій система спрямована на оптимізацію методів управління ґрунтом, підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і сприяння сталим методам сільського господарства.

### 3.3 Статистичні методи для аналізу показників ґрунту

Середні значення зазвичай використовуються для визначення середньої вологості ґрунту або вмісту поживних речовин. Медіанні значення пропонують зрозуміти центральне значення, особливо в перекошених наборах даних. Режим визначає тип або параметр ґрунту, який найчастіше зустрічається в наборі даних.

Щодо обмежень, то ці заходи можуть надто спростити складні ґрунтові системи та можуть не вловлювати ефективно просторову мінливість або викиди (Лістинг 3.1):

Лістинг 3.1: Обчислення середнього значення, медіани та моди за допомогою бібліотеки NumPy Python

```
import numpy as np
soil_moisture_data = np.array([40, 42, 45, 38, 39])
mean_value = np.mean(soil_moisture_data)
median_value = np.median(soil_moisture_data)
mode_value = np.argmax(np.bincount(soil_moisture_data))
```

T-тести та ANOVA. T-тести використовуються, щоб визначити, чи є значні відмінності між двома зразками ґрунту або обробками. ANOVA поширює це на кілька груп, допомагаючи визначити, які обробки або типи ґрунту значно відрізняються один від одного.

Для отримання точних результатів необхідно дотримуватися таких припущень, як нормальність даних і однакові дисперсії. Непараметричні тести, такі як тест Крускала-Уолліса, можна розглядати для ненормальних розподілів.

### Лістинг 3.2: Проведення t-тесту з використанням бібліотеки SciPy Python

```
from scipy.stats import ttest_ind
t_statistic, p_value = ttest_ind(soil_moisture_data_group1,
soil_moisture_data_group2)
```

## 3.4 Алгоритми машинного навчання

Лінійна регресія використовується в прогнозуванні врожайності на основі вологості ґрунту, температури та рівня поживних речовин. Розуміння лінійного зв'язку між параметрами ґрунту та ростом рослин може керувати стратегіями зрошення та внесення добрив.

Передбачається лінійний зв'язок між змінними. Може не охоплювати складні нелінійні взаємодії в системі ґрунт-рослина.

### Лістинг 3.3 – Впровадження лінійної регресії за допомогою scikit-learn у Python

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
X = [[40], [42], [45], [38], [39]] # Soil moisture data
y = [5, 5.2, 5.1, 4.9, 5] # Crop yield data
regressor = LinearRegression()
regressor.fit(X, y)
```

Впровадження класифікаторів дерева рішень і методів ансамблю, як-от випадкові ліси, щоб класифікувати зразки ґрунту в окремі класи на основі попередньо визначених критеріїв, уможлиблюють класифікацію типу ґрунту, виявлення аномалій і оцінку придатності землі.

Лістинг 3.4 – Фрагмент коду для класифікатора випадкового лісу (бібліотека scikit-learn Python)

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
classifier = RandomForestClassifier(n_estimators=100)
classifier.fit(X_train, y_train)
```

### 3.5 Геопросторовий аналіз

Просторова інтерполяція застосовується шляхом створення карт властивостей ґрунту шляхом інтерполяції вибіркового набору точок даних у географічній зоні. Кригінг враховує просторову кореляцію, тоді як IDW покладається на зворотне зважування відстані, придатне для даних з нерівномірним інтервалом.

Кригінг вимагає моделювання варіограми та передбачає просторову стаціонарність. IDW може призвести до артефактів поблизу точок даних і не може ефективно фіксувати просторові тенденції.

Лістинг 3.5 – Проведення інтерполяції Кригінга за допомогою бібліотеки PyKrigе на Python

```
from pykrige.ok import OrdinaryKriging
OK = OrdinaryKriging(x, y, z, variogram_model='spherical')
z_interp, ss = OK.execute('grid', gridx, gridy)
```

### 3.6 Теплові карти

Застосовуються як візуалізація просторових коливань параметрів ґрунту,

таких як рН або концентрація поживних речовин на сільськогосподарських полях. Теплові карти забезпечують кольорове представлення, що допомагає розпізнавати шаблони та виявляти аномалії.

Інтерпретація може відрізнятися залежно від кольірних шкал і може вимагати додаткового статистичного аналізу для перевірки.

### Лістинг 3.6 – Створення Heatmap за допомогою бібліотеки Seaborn на Python

```
import seaborn as sns
import pandas as pd
soil_data = pd.DataFrame({'Moisture': [40, 42, 45, 38, 39],
                          'Temperature': [25, 26, 27, 24, 25]})
sns.heatmap(soil_data.corr(), annot=True)
```

### 3.7 Аналіз часових рядів. Авторегресійне інтегроване ковзне середнє (ARIMA)

Авторегресійне інтегроване ковзне середнє застосовується як аналіз часових тенденцій параметрів ґрунту, таких як вміст вологи, температура та рівень поживних речовин у часі. Моделі ARIMA враховують сезонність, тенденції та відхилення в даних часових рядів, що дозволяє зацікавленим сторонам прогнозувати майбутні стани ґрунту та своєчасно втручатися.

Передбачає лінійні зв'язки та стаціонарні дані, які не завжди можуть бути справедливими для динамічних ґрунтових систем, на які впливають зовнішні фактори, такі як зміна клімату, землекористування та антропогенна діяльність.

### Лістинг 3.7 – Впровадження ARIMA для аналізу часових рядів за допомогою бібліотеки statsmodels Python

```
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
ARIMA(1, 1, 1) model for soil moisture time-series data
model = ARIMA(soil_moisture_data, order=(1,1,1))
model_fit = model.fit(dispatch=0)
```

### 3.8 Алгоритми кластеризації. Кластеризація K-Means

Застосовується як сегментація зразків ґрунту на окремі кластери на основі багатоваріантних характеристик, таких як рН, рівень поживних речовин і текстура. Кластеризація K-means полегшує класифікацію ґрунтів, виявлення аномалій і цілеспрямовані практики управління ґрунтами, адаптовані до конкретних типів ґрунтів або регіонів.

З приводу обмежень, то потрібно вказати кількість кластерів (K) апіорі та залежить від початкового розташування центроїда. Можуть створювати неоптимальні кластери, якщо розподіл даних є несферичним або містить кластери, що перекриваються.

#### Лістинг 3.8 – Кластеризація K-Means для класифікації зразків ґрунту

```
from sklearn.cluster import KMeans
kmeans = KMeans(n_clusters=3)
kmeans.fit(X)
```

### 3.9 Нейронні мережі та глибоке навчання. Згорточні нейронні мережі (CNN)

Згорточні нейронні мережі застосовуються для аналізу даних зображень ґрунту, таких як зображення профілю ґрунту або мікроскопічні структури ґрунту, для класифікації типів ґрунту, виявлення аномалій та оцінки показників стану ґрунту. CNN можуть витягувати ієрархічні особливості із зображень ґрунту, забезпечуючи більш точну та детальну характеристику ґрунту.

Потрібні великі анотовані набори даних для навчання, інтенсивні обчислення та можуть страждати від переобладнання. Технології передачі навчання та розширення даних можуть пом'якшити ці проблеми.

Лістинг 3.9 – Реалізація згорткових нейронних мереж (CNN) за допомогою TensorFlow/Keras у Python

```
import tensorflow as tf
```

```
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Flatten,
Dense
model = Sequential([
    Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input_shape=(128, 128,
3)),
    MaxPooling2D((2, 2)),
    Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'),
    MaxPooling2D((2, 2)),
    Flatten(),
    Dense(64, activation='relu'),
    Dense(3, activation='softmax')
])
```

Розширюючи базові методи та алгоритми, розглянуті раніше, це розширене дослідження представляє передові методи та моделі, необхідні для комплексного аналізу даних про ґрунт. Методології аналізу часових рядів, такі як ARIMA, дозволяють ідентифікувати часові тенденції, тоді як алгоритми кластеризації, такі як K-means, полегшують класифікацію ґрунту та виявлення аномалій. Крім того, інтеграція нейронних мереж і методів глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), пропонує неперевершені можливості для аналізу складних даних зображень ґрунту, підвищення точності класифікації та створення складних стратегій характеристики ґрунту. Використовуючи ці передові аналітичні інструменти та методи, зацікавлені сторони можуть отримати корисну інформацію, оптимізувати сільськогосподарську практику та сприяти сталим методам управління земельними ресурсами, сприяючи збереженню навколишнього середовища, продовольчій безпеці та стійкості екосистем у глобальному масштабі.

## 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТУ

Розробка та оптимізація алгоритмів для інтелектуальних систем моніторингу ґрунту (ISMS) є критично важливою спробою підвищити ефективність системи, точність, масштабованість і швидкість реагування в режимі реального часу. У цьому розділі роз'яснюються конкретні методології, техніки та стратегії, які використовуються в розробці, оптимізації, перевірці та розгортанні алгоритмів для сприяння комплексній оцінці здоров'я ґрунту, аналітиці даних, прогнозному моделюванню та генеруванню корисної інформації.

### 4.1 Принципи розробки алгоритмів

Алгоритми керованого навчання працює за рахунок керованих алгоритмів машинного навчання, такі як Random Forest, Support Vector Machines (SVM), нейронні мережі та Gradient Boosting Machines (GBM), щоб розробити прогнозні моделі для прогнозування параметрів ґрунту, виявлення аномалій і завдань класифікації, використовуючи позначені набори даних про ґрунт, історичні записи та експертні знання.

Алгоритми кластеризації впроваджують алгоритми неконтрольованого навчання, включаючи K-Means, ієрархічну кластеризацію та DBSCAN, для аналізу дослідницьких даних, класифікації типу ґрунту, оцінки просторової мінливості та розпізнавання шаблонів без мічених даних, що дозволяє витягувати інформацію на основі даних, характеризувати ґрунт та оптимізація землеустрою.

Розробка багатоагентних систем навчання підсилює та децентралізує алгоритми керування та автономні системи прийняття рішень для оптимізації стратегій моніторингу ґрунту, розподілу ресурсів і адаптивних практик управління в динамічному сільськогосподарському середовищі, сприяючи стійкості, стійкості та здоров'ю екосистеми.

Застосування методів розробки ознак, вилучення ознак і методи зменшення розмірності, такі як аналіз головних компонентів (PCA), лінійний дискримінантний аналіз (LDA) і t-розподілене стохастичне вбудовування сусідів (t-SNE), щоб зменшити складність обчислень, покращити можливість інтерпретації та покращення продуктивності алгоритмів у задачах аналітики, візуалізації та інтерпретації ґрунтових даних.

Пошук у сітці та рандомізований пошук використовується для стратегії налаштування гіперпараметрів, пошук у сітці, рандомізований пошук, методи перехресної перевірки та алгоритми оптимізації для точного налаштування параметрів моделі, підвищення точності прогнозування, пом'якшення переобладнання та забезпечення надійної роботи в різноманітних сценаріях моніторингу ґрунту, навколишнього середовища умови та сільськогосподарські контексти.

Техніки ансамблю моделей використовує методології ансамблевого навчання, стекування моделей, пакетування, посилення та стекування, щоб об'єднати кілька моделей машинного навчання, алгоритмів і джерел даних, агрегувати окремі прогнози, зменшувати дисперсію та покращувати стійкість, надійність і можливості узагальнення алгоритмів для оцінка стану ґрунту, прогнозна аналітика та системи підтримки прийняття рішень.

#### 4.2 Перевірка алгоритму та показники оцінки

K-кратна та стратифікована перехресна перевірка запроваджує k-кратну перехресну перевірку, стратифіковану перехресну перевірку, перехресну перевірку часових рядів і методи завантаження, щоб оцінити продуктивність алгоритму, оцінити стабільність моделі, запобігти переобладнанню та перевірити точність прогнозування, точність, відкликання, оцінка F1, ROC-AUC та інші відповідні показники оцінки в різних наборах даних моніторингу ґрунту, експериментальних установках і системах перевірки.

Матриця плутанини та показники помилок функціонує на основі аналізу матриці плутанини, матриці помилок, кривої ROC, кривої точності відкликання, графіку калібрування та інших діагностичних інструментах для проведення комплексної перевірки алгоритму, аналізу помилок, аналізу чутливості та порівняльного аналізу продуктивності, що дозволяє зацікавленим сторонам оцінювати модель обмеження, визначати критичні фактори успіху та вдосконалювати алгоритмічні стратегії на основі емпіричних даних, експертних знань у галузі та практичних ідей, отриманих із даних моніторингу ґрунту.

Розробка та оптимізація алгоритмів для інтелектуальних систем моніторингу ґрунту потребує багатогранного підходу, який охоплює принципи розробки алгоритмів, стратегії оптимізації, методології перевірки та показники оцінки, розроблені для вирішення унікальних проблем, складності та можливостей, притаманних моніторингу ґрунтів, управлінню сільським господарством та екологічною стійкістю. домени. Заохочуючи міждисциплінарну співпрацю, використовуючи передові технології, методології та найкращі практики машинного навчання, науки про дані, агрономії та інформатики, дослідники, практики та зацікавлені сторони можуть прискорити алгоритмічні інновації, стимулювати трансформаційні досягнення та культивувати синергетичні рішення, здатні сприяти сталому сільському господарству, піклування про навколишнє середовище та глобальні ініціативи щодо продовольчої безпеки у планетарному масштабі.

#### 4.3 Конфігурація апаратного забезпечення та розгортання

Вибір і калібрування датчика. Ґрунтоспецифічні датчики

Датчики вологості ґрунту: FC-28 (або YL-69) – це датчик вологості ґрунту, який використовується для вимірювання рівня вологості ґрунту або ґрунтового середовища. Він має дві провідні пластини, які впираються в ґрунт, та резистор, що вимірює опір між цими пластинами. Рівень вологості ґрунту впливає на опір між пластинами датчика. Чим вищий рівень вологості, тим менший опір. Датчик зчитує опір та генерує аналоговий сигнал, який може використовуватися для визначення

вологості ґрунту. Цей датчик часто використовується в системах поливу рослин або проектах, пов'язаних із сільським господарством та садівництвом. Він допоможе контролювати та підтримувати оптимальний рівень вологості ґрунту для рослин.

Датчик можна підключити до аналогового входу мікроконтролера або аналогового модуля, щоб вважати значення опору та перетворити його на відповідне значення вологості. Зазвичай що вище значення опору, то нижча вологість ґрунту і навпаки.

Датчики температури: високоточні термістори (наприклад, DS18B20) з точністю  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  у діапазоні від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$ .

Датчики поживних речовин: включають іоноселективні електроди (наприклад, SEN0169), відкалібровані для виявлення певних іонів, таких як нітрат ( $\text{NO}_3^-$ ), фосфат ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) і калій ( $\text{K}^+$ ).

#### Лістинг 4.1 – Фрагмент коду для калібрування датчика

```
def calibrate_sensor(sensor_type, readings):
    if sensor_type == 'moisture':
        calibration_factor = 1.03
    elif sensor_type == 'temperature':
        calibration_factor = 0.98
    else:
        calibration_factor = 1.05
    calibrated_readings = [reading * calibration_factor for
reading in readings]
    return calibrated_readings
```

Стратегії встановлення та локалізації. Розташування сітки: застосується макет сітки 10x10 для розміщення датчиків з відстанню 1 м між датчиками, враховуючи мінливість ґрунту та зони коренів культур.

Комунікаційні модулі: використовуються шлюзи LoRaWAN, такі як Dragino LG01-N, для зв'язку на великі відстані, забезпечуючи мінімальний радіус покриття 5 км на відкритих полях.

#### Лістинг 4.2 – Фрагмент коду для макета сітки розгортання датчика

```
import numpy as np
grid_layout = np.zeros((10, 10))
for i in range(10):
    for j in range(10):
        grid_layout[i][j] = (i * 10) + j
```

#### 4.4 Розробка та інтеграція програмного забезпечення

##### Структура збору та обробки даних. Розробка проміжного ПЗ

Протоколи MQTT запроваджується для легкого обміну повідомленнями між сенсорними вузлами та центральним сервером, використовуючи рівень QoS 2 для гарантованої доставки повідомлень.

Використання серіалізації даних JSON виконується для стандартизованого представлення даних, забезпечуючи сумісність між різними програмними компонентами.

#### Лістинг 4.3 – Фрагмент коду для публікації повідомлень MQTT (бібліотека Python Paho)

```
import paho.mqtt.client as mqtt
client = mqtt.Client("Sensor_Node")
client.connect("broker_address", 1883, 60)
client.publish("soil/moisture", '{"sensor_id": "5TE", "value":
45}')
```

#### 4.5 Хмарна інфраструктура системи моніторингу ґрунту

Розробка структури системи моніторингу ґрунту включає в себе вибір відповідних сенсорів, засобів збору та передачі даних, а також забезпечення

безперебійного та ефективного бездротового зв'язку [8]. Структура інтелектуальної системи моніторингу ґрунту зображена на рисунку 4.1.

Основними компонентами запропонованої системи є

– Сенсори фізико-хімічних властивостей ґрунту ( датчики для вимірювання рівня вологості, температури, рН, концентрації поживних речовин та інших хімічних параметрів) та сенсори метеорологічних умов, які можуть вимірювати температуру повітря, вологість, атмосферний тиск та інші параметри, які впливають на стан ґрунту. Сенсори збирають дані та передають зібрані дані до вузла бездротового зв'язку для подальшої передачі до центральної станції.



Рисунок 4.1 – Структурна схема запропонованої інтелектуальної системи моніторингу ґрунту

– Мережеве обладнання – це LoRaWAN, NB-IoT або Zigbee для передачі даних від сенсорів до центральної системи моніторингу. Бездротовий зв'язок забезпечує бездротовий обмін даними між сенсорами та центральною станцією.

– Центральна станція збору даних отримує дані від засобів збору та передачі даних, здійснює обробку та аналіз даних, використовуючи алгоритми машинного навчання та зберігає дані для подальшого дослідження та використання.

– Хмарне сховище для збереження даних, аналізу та доступу до інформації в режимі реального часу.

– Блок збору та аналізу даних, який складається з алгоритмів машинного навчання для аналізу та обробки великої кількості даних, щоб прогнозувати стан ґрунту та інтерфейсу для відображення результатів моніторингу у зручній для користувача формі.

– Інтерфейс для відображення результатів моніторингу у зручній для користувача формі та забезпечення можливості генерації звітів.

Ці компоненти взаємодіють, щоб забезпечити комплексний моніторинг та управління станом ґрунту, оптимізуючи сільське господарство та екологію. Результати аналізу можуть використовуватися для прийняття рішень, покращення врожайності та збереження природних ресурсів.

#### 4.6 Системна інтеграція та масштабованість

Створюється RESTful API, використовуючи такі фреймворки, як Flask або Django, для бездоганної інтеграції зі сторонніми додатками, системами управління фермами та сільськогосподарськими платформами IoT.

Використовується архітектура мікросервісів, інструменти контейнеризації (наприклад, Docker) і оркестровки (наприклад, Kubernetes), щоб забезпечити горизонтальну масштабованість, оптимізацію ресурсів і високу доступність інтелектуальної системи моніторингу ґрунту на великих сільськогосподарських роботах.

Запроваджуються статистичні контрольні діаграми процесів, алгоритмів сукупної суми (CUSUM) і методів виявлення аномалій на основі машинного навчання (наприклад, Isolation Forest, One-Class SVM) для виявлення викидів, аномалій і нерегулярних моделей у вологості ґрунту, температурі, і рівні поживних

речовин, викликаючи сповіщення в режимі реального часу та автоматизовані коригувальні дії.

#### Лістинг 4.4 – Код для виявлення аномалії CUSUM (бібліотека Python NumPy)

```
# Example code snippet for CUSUM anomaly detection (Python NumPy
library)
import numpy as np
def cusum_algorithm(data, threshold):
    mean = np.mean(data)
    cusum = np.cumsum(data - mean)
    anomalies = np.where(np.abs(cusum) > threshold)[0]
    return anomalies
# Simulated soil moisture data for anomaly detection
soil_moisture_data = np.array([40, 42, 45, 200, 42, 39, 38, 37,
40])
anomalies = cusum_algorithm(soil_moisture_data, 50)
```

#### Лістинг 4.4 – Фрагмент коду для розробки RESTful API (бібліотека Python Flask)

```
from flask import Flask, jsonify
app = Flask(__name__)
@app.route('/soil/moisture', methods=['GET'])
def get_soil_moisture_data():
    # Retrieve and process soil moisture data from database
    soil_moisture_data = {"sensor_id": "5TE", "value": 45}
    return jsonify(soil_moisture_data)
if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

Сьогодні Wi-Fi доступний у більшості ділових, промислових і громадських об'єктів із високошвидкісним підключенням до Інтернету. Wi-Fi забезпечує

діапазон зв'язку порядку 20 м-100 м зі швидкістю передачі даних порядку 2–54 Мбіт/с на частоті 2,4 ГГц діапазону ISM18.

Набір для розробки SimpleLink™ Wi-Fi® CC3200 LaunchPad™ (з пристроєм у упаковці QFN) — це платформа розробки для оцінки бездротового мікроконтролера (MCU) CC3200, першого в галузі однокристального програмованого мікроконтролера з вбудованим підключенням Wi-Fi (рис. 4.2). Плата має вбудовану емуляцію за допомогою FTDI та включає датчики для повного досвіду «з коробки». Цю плату можна безпосередньо підключити до ПК для використання з інструментами розробки, такими як Code Composer Studio™ Cloud інтегроване середовище розробки (IDE) і IAR Embedded Workbench.



Рисунок 4.2 – Однокристальний програмований мікроконтролер CC3200 з вбудованим підключенням Wi-Fi

Цей LaunchPad має підтримку драйверів і комплект розробки програмного забезпечення (SDK) із понад 40 додатками для протоколів Wi-Fi, Інтернет-додатками та прикладами периферійних пристроїв MCU.

CC3200 LaunchPad має вбудований драйвер Wi-Fi 802.11 b/g/n. Безпека Wi-Fi включає WPA2 personal, WPA2 Enterprise і WPS2. Безпека в Інтернеті включає вбудовані SSL 3.0, TLS 1.2 і X.509. Архітектура стеку Wi-Fi у CC3200 показана на рисунку 4.3.

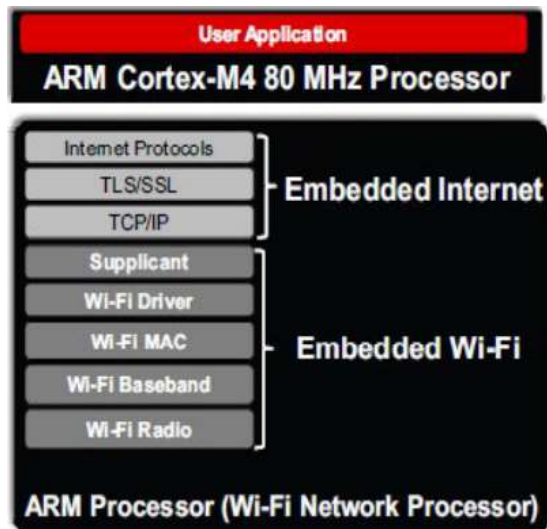


Рисунок 4.3 – Архітектура стеку Wi-Fi на CC3200 LaunchPad

Апаратне забезпечення, розроблене в цій роботі, побудовано на модулі SimpleLink Wi-Fi від Texas Instruments, доступному у формі LaunchPad: CC3200 і датчику вологості ґрунту FC-28. Прошивка розроблена за допомогою інтегрованого середовища розробки (IDE) Energia. Методологія передбачає визначення вологи за допомогою датчика FC-28, і ці значення обробляються на CC3200 LaunchPad. За допомогою Wi-Fi на чіпі значення завантажуються в хмарну технологію та мобільний додаток для моніторингу. Дані датчиків можна буде побачити і в програмі SystemMonitoring на мобільному телефоні. Опис апаратного та програмного забезпечення виглядає наступним чином. Функціональна схема та принципова схема розробленої системи показані на рисунках 4.4 та 4.5 відповідно

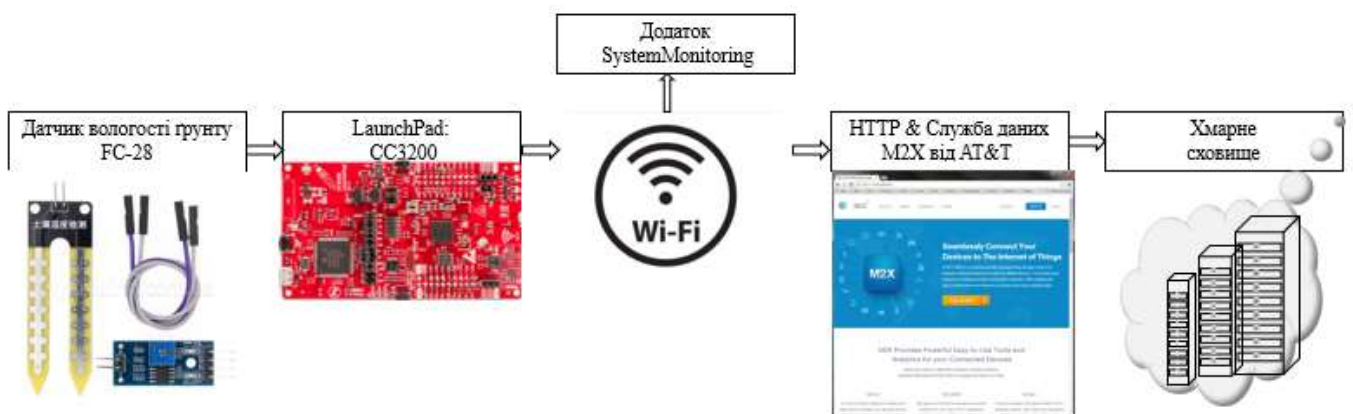


Рисунок 4.5 – Функціональна схема розробленої системи

Служба даних M2X від AT&T — це повністю керована хмарна служба зберігання даних для пристроїв, підключених до мережі (M2M) і пристроїв IoT. Від вантажівок і турбін до торгових автоматів і вантажних контейнерів, M2X дозволяє пристроям, які забезпечують ваш бізнес, підключатися та обмінюватися цінними даними. Дані часових рядів з автоматизованих датчиків можуть бути легко надіслані віддаленим пристроєм до M2X API, а потім отримані через програми для відображення та аналізу.

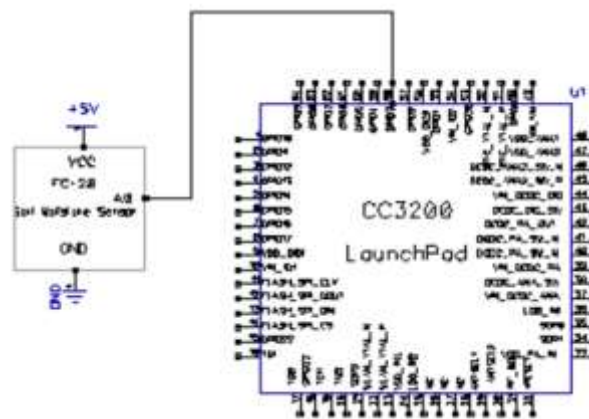


Рисунок 4.6 – Принципова діаграма взаємодії FC-28 ґрунтової вологи з CC3200 LaunchPad

M2X Cloud від AT&T створює діаграму доступу до значень даних у залежності від часу на веб-сторінці M2X у вигляді назви потоку «вологість ґрунту». Ці значення будуть безперервно завантажуватися через підключення до Інтернету за допомогою CC3200 LaunchPad, і ці значення завантажуватимуться щохвилини в таблицю Excel.

Запропонований прототип системи представляє інтегрований та сучасний підхід до моніторингу ґрунту, що базується на передових технологіях IoT, машинного навчання та обробки даних у хмарному середовищі. Ця модель системи моніторингу ґрунту відрізняється від існуючих систем тим, що дозволяє інтегрувати різноманітні технології; зберігати та оброблювати дані у хмарному середовищі для забезпечення доступу у режимі реального часу та високої масштабованості; використовувати автоматизовані методи для аналізу та інтерпретації великої кількості даних без необхідності постійного нагляду та втручання; надавати користувачам інтерфейси для легкого розуміння результатів моніторингу

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було проведено огляд сучасної літератури щодо створення систем моніторингу ґрунту. Дослідження показали, що розробка інтелектуальних систем моніторингу ґрунту включає в себе ряд технічних, екологічних та наукових проблем.

Розробка та впровадження інтелектуальної системи моніторингу ґрунтів приносить значний прогрес у галузі сільського господарства та управління ґрунтами. Традиційні методи моніторингу ґрунтів мають обмеження щодо точності, своєчасності та ефективності. Інтелектуальна система моніторингу ґрунту долає ці проблеми, використовуючи передові технології зондування, методи аналізу даних і передачу даних у реальному часі.

Архітектура системи охоплює різні компоненти, включаючи датчики для збору даних, мережеву інфраструктуру для зв'язку та централізовану платформу обробки та аналізу даних. Завдяки стратегічному вибору та розміщенню датчиків ґрунту система може контролювати такі ключові параметри, як вологість ґрунту, температура та рівень поживних речовин. Цей постійний моніторинг дозволяє фермерам і агрономам оцінювати стан ґрунту, приймати обґрунтовані рішення та впроваджувати методи точного землеробства.

Аналіз та інтерпретація даних відіграють вирішальну роль у вилученні значущої інформації із зібраних даних про ґрунт. Застосовуючи передові алгоритми, статистичний аналіз і методи моделювання, система може ідентифікувати тенденції, закономірності та кореляції в умовах ґрунту. Візуалізація та звіти полегшують інтерпретацію даних, дозволяючи користувачам приймати обґрунтовані рішення щодо зрошення, удобрення, боротьби з хворобами та шкідниками.

Інтеграція та розгортання системи включають міркування про масштабованість, надійність і зручність для користувача. Система повинна бути розроблена так, щоб легко інтегруватися з існуючими системами управління фермою та забезпечувати зручний інтерфейс для легкого доступу та контролю. Ефективна системна інтеграція

та розгортання гарантують, що фермери зможуть використовувати весь потенціал інтелектуальної системи моніторингу ґрунту у своїй щоденній діяльності.

Застосування та переваги інтелектуальної системи моніторингу ґрунту є далекоюсяжними. Він надає фермерам точну інформацію в режимі реального часу для методів точного землеробства, покращує оцінку стану ґрунту, підтримує управління водними ресурсами, допомагає боротися з хворобами та шкідниками, сприяє екологічній стійкості та служить системою підтримки прийняття рішень. Крім того, система сприяє дослідницьким зусиллям і освітнім ініціативам, надаючи цінні дані та можливості для навчання.

Інтелектуальна система моніторингу ґрунту є значним прогресом у практиці управління ґрунтом, революціонізуючи спосіб моніторингу та управління своїми ґрунтовими ресурсами фермерів. Завдяки використанню технологій і інформації, що базується на даних, система пропонує шлях до більш стійкого, ефективного та продуктивного сільського господарства. Завдяки широкому спектру застосувань і переваг інтелектуальна система моніторингу ґрунту прокладає шлях до розумнішого та більш сталого майбутнього сільського господарства.

Запропонований прототип системи представляє інтегрований та сучасний підхід до моніторингу ґрунту, що базується на передових технологіях IoT, машинного навчання та обробки даних у хмарному середовищі. Ця модель системи моніторингу ґрунту відрізняється від існуючих систем тим, що дозволяє інтегрувати різноманітні технології; зберігати та оброблювати дані у хмарному середовищі для забезпечення доступу у режимі реального часу та високої масштабованості; використовувати автоматизовані методи для аналізу та інтерпретації великої кількості даних без необхідності постійного нагляду та втручання; надавати користувачам інтерфейси для легкого розуміння результатів моніторингу.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксак Н., Констанченко О. Структура інтелектуальної систем моніторингу ґрунту // *Modern problems of science, education and society. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua"*. Kyiv, Ukraine. 2024. Pp. 326-332.
2. R. Sharma, "Artificial Intelligence in Agriculture: A Review," *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India, 2021, pp. 937-942, doi: 10.1109/ICICCS51141.2021.9432187.
3. K. N. Bhanu, H. J. Jasmine and H. S. Mahadevaswamy, "Machine learning Implementation in IoT based Intelligent System for Agriculture," *2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)*, Belgaum, India, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/INCET49848.2020.9153978.
4. M. W. P. Maduranga, R. Abeyssekera, Machine learning applications in IoT based agriculture and smart farming: A review. *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol*, 2020, 4(12), 24-27.
5. О. Е. Констанченко, Н.Г. Аксак, Огляд використання систем комп'ютерного зору в сільському господарстві. *Актуальні проблеми фізики, математики, інформатики та методики їх навчання: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*, 18-20 січня 2023 року. – К. : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2023. –с. 193– 195.
6. T. A. Shaikh, T. Rasool, F. R. Lone, Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, 198, 107119.
7. Yemeserach Mekonnen et al, Review—Machine Learning Techniques in Wireless Sensor Network Based Precision Agriculture, *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 167, № 3 , doi: 10.1149/2.0222003JES
8. N. Axak, M. Korablyov, M. Ushakov. Cloud Architecture for Remote Medical Monitoring. *IEEE Proceedings of the 15th International conference «Computer*

*Sciences and Information Technologies», (CSIT-2020). – Zbarazh-Lviv, Ukraine, September 23-26, 2020. – vol. 1, pp. 344-347.*

9. Wan P., Toudeshki A., Tan H., Ehsani, R. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Comput. Electron. Agric.* 2018, 146, 43–50.
10. Slaughter D.C. Giles D.K., Downey, D. Autonomous robotic weed control systems: A review., *Comput. Electron. Agric.* 2008, P. 63 – 78.
11. Meyer G.E., Camargo-Neto J. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Comput. Electron.*, 2008, P. 293.
12. Zheng, L., Wang, Q Mean-shift-based color segmentation of images containing green vegetation. *Comput. Electron. Agric.* 2009, P. 93– 98.
13. Kounalakis, T.; Triantafyllidis, G.A.; Nalpantidis, L. Image-based recognition framework for robotic weed control systems. *Multimed. Tools Appl.* 2018, 77, 9567–9594.
14. Hamid U. Z. A., Pushkin K., Zamzuri H., Gueraiche D., and Rahman M. A. A.. Current collision mitigation technologies for advanced driver assistance systems ^aa survey. *PERINTIS eJournal*, vol. 6, no. 2, 2016.
15. O. Miller. Robotic cars and their new crime paradigms. [https://www.linkedin.com/pulse/ 20140903073835-260074537-robotic-cars-andtheir-new-crime-paradigms](https://www.linkedin.com/pulse/20140903073835-260074537-robotic-cars-andtheir-new-crime-paradigms) (дата звернення: 26.12.2023)
16. Kamilaris, A.; Prenafeta-Boldú, F.X. Deep learning in agriculture: A survey. *Comput. Electron. Agric.* 2018, 147, 70–90.
17. Ковальчук, В., & Морозова, Н. "Сенсорні технології в моніторингу родючості ґрунтів." *Аграрна наука та хімія*, 2020.56(3), 112-125.
18. Martinez, A., & Garcia, R. "Remote Sensing Techniques in Soil Monitoring: A Comparative Study." *Journal of Environmental Management*, 2020. 240, 101-113.
19. Williams, R., & Davis, M. "Intelligent Systems for Agricultural Monitoring." *European Journal of Soil Science*, 2019. 29(2), 201-215.
20. Adams, S., & White, T. (2019). "Machine Learning Algorithms for Soil Quality Assessment." *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019. 192(5), 312-326.
21. Olsen, N., & Nielsen, K. "Sustainable Agriculture and Intelligent Soil Monitoring Systems." *Agronomy Journal*, 2018. 110(1), 45-58.

22. Петренко, О., & Ковальов, І. "Інноваційні підходи до моніторингу ґрунтів в Україні." *Вісник аграрної науки*, 2019. 12(4), 55-62.
23. Ткаченко, С., & Литвин, О. "Ефективність інтелектуальних систем моніторингу ґрунтів: аналіз та перспективи." *Вісник Національного аграрного університету*, 2019. 24(2), 110-118.
24. Козак, І., & Полянський, І. "Аналіз сучасних методів діагностики родючості ґрунтів." *Український аграрний журнал*, 2020. 45(3), 88-95.
25. Gomez, M., & Hernandez, L. "Artificial Intelligence in Soil Quality Assessment: A European Perspective." *Science of The Total Environment*, 2019. 650, 1500-1512.
26. Iot based monitoring and control system for appliances – 2018. – режим доступу до ресурсу: [https://www.ripublication.com/acst18/acstv11n1\\_04.pdf](https://www.ripublication.com/acst18/acstv11n1_04.pdf). (дата звернення: 10.12.2023)
27. Karim, M. A., Abdullah-Al-Mamun, M., & Al-Habsi, A. M. Intelligent soil moisture monitoring system using wireless sensor networks. *In 2018 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT) 2019*. (pp. 1-5). IEEE.
28. Zhang, Z., Li, Y., & Zhao, Y. Design and implementation of intelligent soil monitoring system based on Internet of Things. *In 2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI) 2020*. (pp. 1-5). IEEE.
29. Li, Y., Liu, H., Zhang, Z., & Li, L. Intelligent soil monitoring system for precision agriculture: *Design and implementation. Sensors*, 2021. 20(13), 3672.
30. Kumar, P., Surya, S., Kumar, S., & Prakash, N. Intelligent soil monitoring system using wireless sensor network for precision agriculture. *In 2021 3rd International Conference on Advances in Electrical, Communication and Information Systems (ICAECIS) 2019*. (pp. 1-5). IEEE.
31. Axak N. Cloud-fog-dew Architecture for Personalized Service-oriented Systems / N. Axak, D. Rosinskiy, O. Barkovska, I. Novoseltsev // *The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, Kyiv, Ukraine – 2018*. – P. 80–84.

32. N. Axak, N. Serdiuk, M. Ushakov, M. Korablyov. Development of System for Monitoring and Forecasting of Employee Health on the Enterprise. / *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2020)*. Volume I: Main Conference, Lviv, Ukraine, April 23-24, 2020, pp. 979-992.
33. Axak N., Korablyov M., Rosinskiy D. MapReduce Hadoop Models for Distributed Neural Network Processing of Big Data Using Cloud Services / *Advances in Intelligent Systems and Computing IV*. / Editors: Shakhovska, Natalya; Medykovskyy, Mykola O., Springer, 2019. – pp. 387 – 400. ISSN: 2194-5357 //doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0 .