

## ОПОВІЩЕННЯ ПРО АВТОРСЬКЕ ПРАВО

Частина розкриття даного патентного документа містить матеріал, який підлягає захисту авторських прав. Власник авторських прав не заперечує проти факсимільного відтворення ким-небудь патентного документа або розкриття патенту, як це вказано у патентній справі або записях Бюро реєстрації патентів та товарних знаків, але в іншому випадку зберігає всі авторські права або права в цілому. © 2015-2019 The Climate Corporation.

### ГАЛУЗЬ ТЕХНІКИ, ДО ЯКОЇ НАЛЕЖИТЬ ВІНАХІД

Однією технічною галуззю представленого розкриття є визначення властивостей ґрунту, ґрунтуючись на супутникових даних та використанні підходів машинного навчання.

### ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ВІНАХОДУ

Підходи, описані в даному розділі, являють собою підходи, які могли б застосовуватися, але не обов'язково підходи, які раніше були задумані або застосовані. Тому, якщо не вказано інше, не слід вважати, що будь-який з підходів, описаних в даному розділі, кваліфікується як рівень техніки лише внаслідок їх включення до даного розділу.

Показники органічної речовини ґрунту та показники здатності до катіонообміну являють собою важливі джерела інформації про якість ґрунту. Органічна речовина ґрунту (SOM), як правило, включає рослинний та тваринний детрит на різних стадіях розкладання. Він також може включати клітини та тканини ґрунтових мікробів та речовини, які ґрунтові мікроби синтезують. SOM забезпечує поживні речовини для сільськогосподарських культур, оскільки вони розкладаються та збільшують здатність зберігати поживні речовини в ґрунті. Катіонообмінна здатність (CEC) являє собою міру того, скільки катіонів може утримуватися на поверхнях частинок ґрунту. CEC використовується для визначення здатності ґрунту утримувати поживні речовини та вказує на родючість ґрунту. Властивості ґрунту, зокрема SOM та CEC, являють собою критично важливі чинники, які впливають на врожайність, оскільки вони є основними причинами мінливості підполя щодо врожайностей сільськогосподарських культур та відповідь сільськогосподарських культур на методи ведення сільського господарства. Інші властивості ґрунту, такі як pH, P, K, Mg, та Ca, також являють собою важливі джерела інформації для розуміння сільськогосподарської культури та стану поживних речовин ґрунту.

Однак, кількісні та абсолютні вимірювання властивостей ґрунту, як правило, включають реалізацію інтенсивних та вартісних стратегій відбору зразків ґрунту. Стратегії можуть включати відбір зразків ядра ґрунту, які, як правило, важко масштабувати. Крім того, просторово-розподілені карти, згенеровані ґрунтуючись на точкових зразках ґрунту, як правило, покладаються на складні та неточні методи інтерполяції.

Деякі з даних проблем можуть бути подолані шляхом імплементації вартісних та трудомістких методик проксимальних датчиків. Методики можуть використовувати, наприклад, дані VERIS та SmartFirmer. Методики, однак, вимагають проведення широкого калібрування приладу, та калібрування даних, та точкового відбору зразків ґрунту. Крім того, методики можуть бути обмежені ділянками, які вже були обстежені. Інші зусилля для отримання даних про мінливість підполя SOM використовували бортові дані. Дані зусилля, як правило, здійснюються в малому масштабі та для невеликої кількості полів.

Однак, до цього не існувало ніяких конкретних зусиль на основі зображень, спрямованих на картографування властивостей ґрунту, таких як pH, P, K, Mg та Ca.

### СУТЬ ВІНАХОДУ

Формула винаходу, яка додається, може служити як викладення суті винаходу.

Даний винахід відноситься до комп'ютерно-реалізованого способу прогнозування властивостей ґрунту підполя для сільськогосподарського поля, при цьому спосіб включає:

- отримання даних супутникового дистанційного зондування, які включають низку зображень, які охоплюють зображення сільськогосподарського поля в оптичних доменах;

- отримання множини характеристик навколишнього середовища для сільськогосподарського поля;

- генерування множини попередньо оброблених зображень, ґрунтуючись на множині зображень та множині характеристик навколишнього середовища;

- ідентифікування множини ознак сільськогосподарського поля, ґрунтуючись на множині попередньо оброблених зображень;

- генерування прогнозування властивостей ґрунту підполя для сільськогосподарського поля шляхом виконання щонайменше однієї моделі машинного навчання на множині ознак;

- передача прогнозування властивостей ґрунту підполя на сільськогосподарську інтелектуальну комп'ютерну систему,

- ідентифікування щонайменше однієї зони управління полями в межах сільськогосподарського поля, ґрунтуючись на прогнозуванні властивостей ґрунту підполя для сільськогосподарського поля;

- генерування щонайменше одного сільськогосподарського припису для кожної зони управління полями;

- генерування щонайменше одного сценарію на основі щонайменше одного сільськогосподарського припису для кожної зони управління полями; та

- надсилання щонайменше одного сценарію на контролер додатків для керування контролером додатків для керування робочими параметрами сільськогосподарського транспортного засобу або обладнання;

- в якому властивості ґрунту підполя включають вміст органічної речовини ґрунту, катіонообмінну здатність або ґрунтовий потенціал щодо будь-якого з водню, калію, фосфору, магнію або кальцію.

Крім того, даний винахід стосується енергонезалежного комп'ютерно-зчитуваного носія, виконаного з можливістю зберігання щонайменше однієї комп'ютерної інструкції, яка, коли виконуються щонайменше одним комп'ютерним процесором, призначена для того, щоб викликати виконання принаймні одним комп'ютерним процесором зазначеного способу.

### КОРОТКИЙ ОПИС КРЕСЛЕНЬ

На кресленнях:

ФІГУРА 1 ілюструє приклад комп'ютерної системи, яка є сконфігурованою з можливістю виконання функцій, описаних в даному документі, та показаною в польовому середовищі з іншими пристроями, з якими система може взаємодіяти.

ФІГУРА 2 ілюструє два види прикладу логічної організації наборів інструкцій в основній пам'яті, коли

прикладний мобільний додаток завантажується для виконання.

ФІГУРА 3 ілюструє запрограмований процес, за допомогою якого сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система генерує одну або декілька попередньо сконфігурованих агрономічних моделей з використанням агрономічних даних, наданих одним або декількома джерелами даних.

ФІГУРА 4 представляє собою блок-схему, яка ілюструє комп'ютерну систему, з якою варіант здійснення винаходу може бути реалізований.

ФІГУРА 5 зображує ілюстративний варіант здійснення представлення графіку робіт для введення даних.

ФІГУРА 6 зображує ілюстративний варіант здійснення представлення динамічної таблиці для введення даних.

ФІГУРА 7 зображує ілюстративний спосіб генерування даних щодо властивості ґрунту з використанням підходу машинного навчання.

ФІГУРА 8 зображує приклади вегетаційних індексів.

ФІГУРА 9 зображує ілюстративну блок-схему для генерування даних щодо властивості ґрунту з використанням підходу машинного навчання.

#### ДЕТАЛЬНИЙ ОПИС ВИНАХОДУ

В наступному описі з метою пояснення викладені численні конкретні деталі для того, щоб надати глибоке розуміння представленого розкриття. Однак буде очевидно, що варіанти здійснення можуть практикуватися без даних конкретних деталей. В інших випадках добре відомі структури та пристрої є показаними у вигляді блок-схеми для того, щоб уникнути непотрібного затемнення за представленим розкриттям. Варіанти здійснення є розкритими в розділах відповідно до наступного схематичного представлення:

1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД
2. ПРИКЛАД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ
- 2.1. СТРУКТУРНИЙ ОГЛЯД
- 2.2. ОГЛЯД ПРОГРАМ ЗАСТОСУВАННЯ
- 2.3. ДАНІ, ЯКІ ВВОДЯТЬ В КОМП'ЮТЕРНУ СИСТЕМУ
- 2.4. ОГЛЯД СПОСОБУ - НАВЧАННЯ АГРОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ
- 2.5. ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ - ОГЛЯД АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
3. ІЛЮСТРАТИВНИЙ СПОСІБ ГЕНЕРУВАННЯ ДАНИХ ЩОДО ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ
- 3.1. НАДАННЯ ГРАНИЧНИХ ДАНИХ
- 3.2. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ДЛЯ ПОЛЯ
- 3.2.1. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ІЗ СУПУТНИКА
- 3.2.2. ДОСТУП ДО СПІВ-ВАРІАТИВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
- 3.3. ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ДАНИХ
- 3.3.1. КОРЕКЦІЯ ДАНИХ НА ОСНОВІ АТМОСФЕРНИХ
- 3.3.2. КОРЕКЦІЯ ОГОЛЕНИЙ-ҐРУНТ-ПІКСЕЛЬ
- 3.3.3. НОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ФІЛЬТРУВАННЯ ПОМИЛКОВО-ПОЗИТИВНИХ ДАНИХ
- 3.3.4. ОБЧИСЛЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ
- 3.4. ВИКОНАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ
- 3.4.1. МОДЕЛЬНА ТОЧНІСТЬ ІЛЮСТРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ML
- 3.4.2. КАРТОГРАФУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ҐРУНТУ
- 3.4.3. МАСШТАБУВАННЯ МОДЕЛІ SOM
- 3.4.4. ІЛЮСТРАТИВНА БЛОК-СХЕМА
4. УДОСКОНАЛЕННЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕНІ ДЕЯКИМИ ВАРІАНТАМИ ЗДІЙСНЕННЯ

\*

#### 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД

В одному варіанті здійснення, описується підхід щодо генерування картографування властивостей ґрунту, ґрунтуючись на різних типах даних, та використовуючи моделі машинного навчання. Підхід може ґрунтуватися на керованих непараметричними даними методологіях для визначення картографування, ґрунтуючись на супутникових та інших даних.

Властивості ґрунту підполя можуть включати, наприклад, органічну речовину ґрунту (SOM). SOM може вимірюватись як, наприклад, частка (%) органічної речовини, що входить до конкретного зразка ґрунту. Властивості ґрунту можуть також включати вимірювання здатності до катіонообміну (CEC). Катіонообмінна здатність вказує скільки молекул (катіонів) може утримуватися на поверхнях частинок ґрунту. Оскільки негативні заряди на поверхнях частинок ґрунту зв'язують позитивно заряджені молекули, зв'язані молекули можуть втрачатися, коли, наприклад, вони обмінюються на деякі позитивно зарядженими частинками в навколишній ґрунтовій воді. Отже, вимірювання CEC може бути корисним показником стану ґрунту. CEC, як правило, визначається як кількість позитивного заряду, який може обмінюватись на масу ґрунту, та, як правило, вимірюється в смоль/кг.

Інші властивості ґрунту можуть також включати рівні ґрунтового потенціалу водню (pH), калію (K), фосфору (P), магнію (Mg), та кальцію (Ca). Вони, як правило, вимірюються в м.ч.

Карта властивості ґрунту підполя може бути визначена, ґрунтуючись на різних типах даних, включаючи супутникові дані, дані шарів на основі топографічних даних, дані щодо особливостей погоди, тощо. Супутникові дані можуть бути віддалено зафіксовані та можуть відображати спектральні особливості ґрунту. Дані можуть поєднуватися з абсолютними вимірюваннями точкових відборів зразків ґрунту, та топографічними та погодними особливостями.

В одному варіанті здійснення, комбіновані дані переносяться на одну або декілька моделей машинного навчання (ML). Модель може бути непараметричною моделлю або подібною. Модель може бути спочатку навчена на навчальних даних, та потім розгорнута для обробки нещодавно зібраних даних для формування картографування SOM, CEC та інші властивості ґрунту, такі як pH, P, K, Mg, та Ca. Картографування може бути визначена з відносно високою роздільною здатністю та точністю. Картографування може представляти властивості ґрунту для різних топологій та різних моментів часу.

Підхід може бути корисним у різних агрономічних практиках. Наприклад, підхід може бути корисним для визначення зон управління сільськогосподарськими полями з метою визначення рекомендацій для полів. Ґрунтуючись на визначених зонах, комп'ютерна система може автоматично генерувати один або декілька сільськогосподарських приписів для кожної зони управління. Припис може включати сценарії щодо норми висівання та гібридів, розміщення насіння, сценарії змінних норм азоту, захист сільськогосподарських культур зі змінною нормою, відбір зразків ґрунту, та управління зрошенням та діагностику стресогенних чинників щодо врожайності.

В одному варіанті здійснення, підхід дозволяє прогнозувати різні властивості ґрунту для поля з використанням непараметричних моделей ML. Приклади непараметричних моделей включають модель регресії на основі гаусовських процесів (GPR). Однією з переваг використання моделі GPR є те, що модель не тільки забезпечує прогнозовані величини для вихідних даних моделі, але також забезпечує міри невизначеності для прогнозованих величин. Додаткові моделі, реалізовані у цьому підході, можуть включати модель випадкового лісу (RF), модель глибокого навчання тощо.

Модель ML може бути сконфігурована для прийому вхідних даних моделі та для генерування прогнозів моделі. В деяких варіантах здійснення, вхідні дані можуть включати оброблені зображення, отримані з даних супутникового дистанційного зондування, які можуть включати дані, зібрані для різних оптичних смуг та спектрів. Це може включати, наприклад, дані, зібрані у видимому (VIS) спектрі, ближньому інфрачервоному спектрі та короткохвильовому інфрачервоному (SWIR) спектрі.

Вхідні дані можуть бути отримані із, наприклад, супутника Landsat 8 супутник у вигляді даних з експлуатаційного пристрою формування зображення землі Landsat 8 (Landsat-8-OLI). Дані Landsat-8-OLI можуть бути відібрані, наприклад, з роздільною здатністю 30 метрів. Вхідні дані можуть також бути отримані з Європейських супутників оптичної візуалізації Sentinel-2A та Sentinel-2 B. Такі дані називаються даними Sentinel, та, як правило, відбираються з роздільною здатністю 10/20 метрів.

Модель ML також може бути сконфігурована для прийому вхідних даних, реалізовані як змінні навколишнього середовища. Змінні можуть представляти на топографічній основі ознаки, такі як нахил, висота, аспект, кривизна, кривизна профілю, кривизна форми в плані та різні кривизни та дані накопичення потоку. Інші змінні навколишнього середовища можуть представляти, наприклад, вимірювання накопичених опадів та температури в межах певного періоду часу, протягом якого супутникові дані збирались, довгострокова середня температура та кількість опадів, абсолютні вимірювання точкового відбору зразків ґрунту властивостей ґрунту, та подібні.

В одному варіанті здійснення, підхід щодо генерування картографування властивостей ґрунту включає навчання моделі ML з використанням різних типів даних, включаючи дані, які залежать від погоди. Навчання, як правило, покращує точність прогнозів, згенерованих моделлю ML. За рахунок навчання модель для залежних від погоди ґрунтових умов із багаточасовими характеристиками, які ґрунтуються на зображенні, та відповідно до тимчасової динамічної картини властивостей ґрунту, точність прогнозованих властивостей ґрунту, як правило, значно покращується в порівнянні з результатами, отриманими з використанням інших підходів.

В одному варіанті здійснення, підхід забезпечує надійні механізми прогнозування властивостей ґрунту з відносно високою точністю та масштабованістю. Підхід може бути, наприклад, легко масштабований за декількома географічними регіонами та декількома зонами розмежування.

## 2. ПРИКЛАД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ

### 2.1. СТРУКТУРНИЙ ОГЛЯД

ФІГУРА 1 ілюструє приклад комп'ютерної системи, яка є сконфігурованою для виконання функцій, описаних в даному документі, показаною в польовому середовищі з іншими пристроями, з якими система може взаємодіяти. В одному варіанті здійснення, користувач 102 має, експлуатує або володіє обчислювальним пристроєм 104 керуючого польовими роботами в розташуванні поля або місці, пов'язаному з розташування поля, такому як поле, призначене для сільськогосподарської діяльності або місце керування для одного або декількох сільськогосподарських полів. Обчислювальний пристрій 104 керування польовими роботами є запрограмованим або налаштованим на забезпечення польових даних 106 для сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130 через одну або декілька мереж 109.

Приклади польових даних 106 включають (a) ідентифікаційні дані (наприклад, площа поля, назва поля, ідентифікатори полів, географічні ідентифікатори, ідентифікатори меж, ідентифікатори сільськогосподарських культур, та будь-які інші відповідні дані, які можуть використовуватись для ідентифікації сільськогосподарських угідь, такі як загальна одиниця площі землі (CLU), номер партії та блоку, номер ділянки, географічні координати та межі, реєстраційний номер фермерського господарства (FSN), номер фермерського господарства, номер ділянки, номер полі, ділянка, селище, та/або діапазон), (b) дані щодо врожаю (наприклад, тип сільськогосподарської культури, сорт сільськогосподарської культури, ротація сільськогосподарської культури, чи вирощується сільськогосподарська культура органічно, дата збору врожаю, фактична історія виробництва (APH), очікувана врожайність, врожайність, вартість сільськогосподарської культури, дохід від сільськогосподарської культури, вологість зерна, прийоми механічної обробки ґрунту, та попередня інформація про період вегетації), (c) дані щодо ґрунту (наприклад, тип, склад, pH, органічні речовини (OM), катіонообмінна здатність (CEC)), (d) дані про висівання (наприклад, дата висівання, тип насіння, відносну зрілість (RM) висіяного насіння, щільність висівання насіння), (e) дані про добрива (наприклад, тип поживних речовин (азот, фосфор, калій), тип застосування, дата застосування, кількість, джерело, спосіб), (f) дані хімічного застосування (наприклад, пестицид, гербіцид, фунгіцид, інша речовина або суміш речовин, призначені для застосування як регулятора рослин, дефоліанту або десікатору, дата застосування, кількість, джерело, спосіб), (g) дані про зрошення (наприклад, дата застосування, кількість, джерело, спосіб), (h) дані про погоду (наприклад, кількість опадів, швидкість опадів, прогнозована кількість опадів, регіон швидкості стоку води, температура, вітер, прогноз погоди, тиск, видимість, хмарність, індекс тепла, точка роси, вологість, глибина снігу, якість повітря, схід сонця, захід сонця), (i) дані зображень (наприклад, зображення та інформація про спектр світла від датчика сільськогосподарського обладнання, камери, комп'ютера, смартфона, планшета, безпілотного літального апарату, літаків або супутника), (j) пошукові спостереження (фотографії, відеозаписи, нотатки у вільній формі, голосові записи, транскрипція голосу, погодні умови (температура, опади (поточні та з часом), вологість ґрунту,

стадія росту сільськогосподарських культур, швидкість вітру, відносна вологість, точка роси, шар черні)), та (к) фенологія ґрунту, насіння, сільськогосподарської культури, джерела та бази даних про шкідників та хвороби.

Серверний комп'ютер 108 даних є з'єднаним з можливістю зв'язку із сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою 130 та є запрограмованим або налаштованим на передачу зовнішніх даних 110 із сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130 через мережу/мережі 109. Зовнішній серверний комп'ютер 108 даних може належати або експлуатуватись однією тією самою юридичною особою або організацією, що і сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130, або іншою особою чи організацією, такою як державний орган, неурядова організація (НУО), та/або приватний постачальник послуг з обробки даних. Приклади зовнішніх даних включають дані про погоду, дані зображень, дані щодо ґрунту, або статистичні дані, які, серед іншого, стосуються врожайності сільськогосподарських культур. Зовнішні дані 110 можуть складатися з того самого типу інформації що і польові дані 106. В деяких варіантах здійснення, зовнішні дані 110 забезпечуються зовнішнім сервером даних 108, який належить тому самому об'єкту, який володіє та/або експлуатує сільськогосподарську інтелектуальну комп'ютерну систему 130. Наприклад, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 може включати сервер даних, орієнтований виключно на тип даних, які в іншому випадку можуть бути отримані із сторонніх джерел, такі як дані про погоду. В деяких варіантах здійснення, зовнішній сервер даних 108 може фактично бути включеним в систему 130.

Сільськогосподарський пристрій 111 може мати один або декілька віддалених сенсорів 112, закріплених на ньому, при цьому сенсори є з'єднаними з можливістю зв'язку або безпосередньо або опосередковано через сільськогосподарський пристрій 111 із сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою 130, та є запрограмований або налаштований на передачу даних сенсора до сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130. Приклади сільськогосподарського пристрою 111 включають трактори, комбайни, косилки, сівалки, вантажівки, обладнання для добрив, літальні апарати, включаючи безпілотні літальні апарати, та будь-який інший елемент фізичної техніки або обладнання, як правило, мобільну техніку, та який може використовуватись в завданнях, пов'язаних із сільським господарством. В деяких варіантах здійснення, один елемент пристрою 111 може містити низку сенсорів 112, які є локально з'єднаними в мережі пристрою; мережа зони контролера (CAN) являє собою приклад такої мережі, яка може бути встановлена на комбайни, косилки, обприскувачі, та культиватори. Контролер додатків 114 є з'єднаним з можливістю зв'язку із сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою 130 через мережу/мережі 109 та є запрограмований або налаштований на отримання одного або декількох сценаріїв, які використовуються для керування робочим параметром сільськогосподарського транспортного засобу або реалізації з сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130. Наприклад, інтерфейс шини мережі зони контролера (CAN) може використовуватись для того, щоб забезпечити зв'язок від сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130 до сільськогосподарського пристрою 111, наприклад, використовується як CLIMATE FIELDVIEW DRIVE, доступний від The Climate Corporation, San Francisco, California. Дані сенсора можуть складатися з того самого типу інформації що і польові дані 106. В деяких варіантах здійснення, віддалені сенсори 112 можуть не фіксуватися до сільськогосподарського пристрою 111, але можуть бути віддалено розташовані на полі та можуть під'єднуватися до мережі 109.

Пристрій 111 може містити кабінний комп'ютер 115, запрограмований з кабінним додатком, який може містити версію або варіант мобільного додатка для пристрою 104, який далі описується в інших розділах в даному документі. В одному варіанті здійснення, кабінний комп'ютер 115 включає компактний комп'ютер, часто комп'ютер або смартфон розміром з планшетом, з графічним екраном візуалізації, таким як кольоровий дисплей, який встановлений у кабіні оператора пристрою 111. Кабінний комп'ютер 115 може реалізувати деякі або всі операції та функції, які описуються далі в даному документі для мобільного комп'ютерного пристрою 104.

Мережа/мережі 109 в цілому представляють будь-яку комбінацію однієї або декількох мереж передачі даних, включаючи локальні мережі, глобальні мережі, включаючи локальні мережі, глобальні мережі, між мережеві взаємодії або інтернет, використовуючи будь-які дротові або бездротові лінії зв'язку, включаючи наземні або супутникові лінії зв'язку. Мережа/мережі може бути реалізованою будь-яким середовищем або механізмом, який забезпечує обмін даними між різними елементами на ФІГУРІ 1. Різні елементи на ФІГУРІ 1 можуть також мати прямі (дротові або бездротові) лінії зв'язку. Сенсори 112, контролер 114, зовнішній серверний комп'ютер 108 даних, та інші елементи системи, кожен, містять інтерфейс сумісний з мережею/мережами 109 та є запрограмований або налаштований на використання стандартизованих протоколів для зв'язку через мережі, такі як TCP/IP, Bluetooth, CAN-протокол та протоколи вищого рівня, такі як HTTP, TLS, та подібні.

Сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є запрограмованою або налаштованою на отримання польових даних 106 від керуючого польовими роботами обчислювального пристрою 104, зовнішніх даних 110 від зовнішнього серверного комп'ютера 108 даних, та даних сенсора від віддаленого сенсора 112. Сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 може бути додатково налаштованою на розміщення, використання або виконання однієї або декількох комп'ютерних програм, інших елементів програмного забезпечення, цифрово-запрограмовану логічну частину, таку як FPGA або ASIC, або будь-яку їх комбінацію для здійснення трансляції та зберігання значень даних, побудови цифрових моделей для однієї або декількох сільськогосподарських культур на одному або декількох полях, формування рекомендацій та повідомлень, та формування та надсилання сценаріїв на контролер додатків 114, за способом, описаним далі в інших розділах даного розкриття.

В одному варіанті здійснення, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є запрограмованою або включає комунікаційний рівень 132, рівень представлення даних 134, рівень керування даними 140, рівень апаратних засобів / віртуалізації 152, інструкції щодо коду 180 та сховище модельних та польових даних 160. "Рівень," в даному контексті, відноситься до будь-якої комбінації схем електронного цифрового інтерфейсу, мікроконтролерів, програмно-апаратного забезпечення, такого як драйвери, та/або комп'ютерні програми або інші елементи програмного забезпечення.

Комунікаційний рівень 132 може бути запрограмований або налаштований для здійснення функцій взаємодії вводу/виводу, включаючи надсилання запитів на керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104, зовнішній серверний комп'ютер 108 даних, та віддалений сенсор 112 для польових даних, зовнішніх даних, та

даних сенсорів, відповідно. Комунікаційний рівень 132 може бути запрограмований або налаштований на передачу отриманих даних до сховища модельних та польових даних 160, які зберігаються, як польові дані 106.

Рівень представлення даних 134 може бути запрограмований або налаштований для формування графічного інтерфейсу користувача (GUI), який відображатиметься на обчислювальному пристрої керуючого польовими роботами 104, кабінному комп'ютері 115 або інших комп'ютерах, які є підключеними до системи 130 через мережу 109. GUI може містити елементи керування для введення даних, що надсилаються до сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130, які формують запити для моделей та/або рекомендацій, та/або відображення рекомендацій, повідомлень, моделей, та інших польових даних.

Рівень керування даними 140 може бути запрограмований або налаштований на керування операціями зчитування та операціями запису, що включають сховище 160 та інші функціональні елементи системи, включаючи запити та набори результатів, які передаються між функціональними елементами системи та сховищем. Приклади рівня керування даними 140 включають JDBC, SQL код інтерфейсу сервера, та/або код інтерфейсу HADOOP, серед іншого. Сховище 160 може містити базу даних. Як використовується в даному документі, термін "база даних" може стосуватися або сукупності даних, реляційної системи керування базами даних (RDBMS), або обох. Як використовується в даному документі, база даних може містити будь-яку колекцію даних, включаючи ієрархічні бази даних, реляційні бази даних, бази даних неструктурованих файлів, об'єктно-реляційні бази даних, об'єктно-орієнтовані бази даних, розподілені бази даних, та будь-яка інша структурована колекція записів або даних, які зберігаються в комп'ютерній системі. Приклади RDBMS включають, але не обмежуються цим, в тому числі, бази даних ORACLE®, MYSQL, IBM® DB2, MICROSOFT® SQL SERVER, SYBASE®, та POSTGRES SQL. Однак, будь-яка база даних може використовуватись, яка включає системи та способи, описані в даному документі.

Інструкції щодо коду 180 можуть включати інструкції щодо отримання даних 136, інструкція щодо обробки даних 137, інструкція щодо моделі машинного навчання 138, інструкція щодо генерування карт 139, та інші інструкції. Інструкції щодо отримання даних 136 можуть включати інструкції щодо отримання різних типів даних зображень для сільськогосподарського поля, включаючи супутникові цифрові зображення, наземно зібрані дані зображень, дані зображень, отримані з національних та/або дослідницьких сільськогосподарських баз даних, тощо.

Інструкція щодо обробки даних 137 можуть включати інструкції для попередньої обробки даних зображень різних типів. Інструкції 137 може бути сконфігуровані з можливістю, наприклад, виконувати атмосферну корекцію супутникових зображень, фільтрувати зображення, виявляти провали значень даних зображень, дані репроекції, виконувати інтерполяцію даних, виконувати субдискретизацію даних тощо.

Інструкція щодо моделі машинного навчання 138 можуть включати інструкції щодо навчання однієї або декількох моделей ML для визначення властивості ґрунту для поля, ґрунтуючись на вхідному зображенні, перенесення вхідних зображень на моделі ML для генерування прогнозів щодо властивості ґрунту, ґрунтуючись на вхідних зображеннях, виведення прогнозів та, необов'язково, вимірювання, які демонструють якість прогнозів.

Інструкція щодо генерування карт 139 можуть включати інструкції для отримання прогнозів щодо властивостей ґрунту для сільськогосподарського поля з однієї або декількох моделей ML, використовуючи прогнози, отримані з однієї або декількох моделей ML для генерування однієї або декількох цифрових карт, які відображають властивості ґрунту для сільськогосподарського поля.

Коли польові дані 106 не надаються безпосередньо до сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи через одну або декілька сільськогосподарських машин або пристроїв сільськогосподарських машин, які взаємодіють із сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою, користувачеві може бути запропоновано один або декілька інтерфейсів користувача на пристрої користувача (який обслуговується сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою) для введення такої інформації. В ілюстративному варіанті здійснення, користувач може вказувати ідентифікаційні дані, отримуючи доступ до карти на пристрої користувача (який обслуговується сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою) та вибираючи конкретні CLU, які були графічно показані на карті. В альтернативному варіанті здійснення, користувач 102 може вказувати ідентифікаційні дані, отримуючи доступ до карти на пристрої користувача (який обслуговується сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою 130), та малюючи межі поля над картою. Такі виділення CLU або креслення карти представляють географічні ідентифікатори. В альтернативних варіантах здійснення, користувач може вказувати ідентифікаційні дані, отримуючи доступ до ідентифікаційних даних полів (які надаються у вигляді файлів форм або у подібному форматі) від Агентства з обслуговування сільського господарства Міністерства сільського господарства США (U. S. Department of Agriculture Farm Service Agency) або іншого джерела через пристрій користувача, та надаючи такі ідентифікаційні дані полів сільськогосподарській інтелектуальній комп'ютерній системі.

В ілюстративному варіанті здійснення, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є запрограмованою для генерування та спричинення відображення графічного інтерфейсу користувача, який містить менеджер даних для введення даних. Після того, як одне або декілька полів були визначені з використанням способів, описаних вище, менеджер даних може надати один або декілька віджетів графічного інтерфейсу користувача, які при виборі можуть ідентифікувати зміни поля, ґрунту, сільськогосподарських культур, обробки ґрунту, або поживних речовин. Менеджер даних може включати огляд графіку робіт, огляд динамічної таблиці, та/або одну або декілька редагованих програм.

ФІГУРА 5 зображує ілюстративний варіант здійснення представлення графіку робіт для введення даних. Використовуючи дисплей, зображений на ФІГУРІ 5, комп'ютер користувача може ввести вибір конкретного поля та певну дату для додавання події. Події, зображені у верхній частині графіка робіт може включати азот, висівання, способи практичного застосування, та ґрунт. Для того, щоб додати подію застосування азоту, комп'ютер користувача може надати вхідні дані для вибору введення азоту. Комп'ютер користувача потім може вибрати місце в графіку робіт для конкретного поля для того, щоб вказати на застосування азоту на вибраному полі. У відповідь на отримання вибору місця на графіку робіт для конкретного поля, менеджер даних може відображати накладення для введення даних, що дозволяє користувачеві комп'ютера вводити дані, які стосуються застосування азоту, процедур висівання, застосування ґрунту, процедур обробки ґрунту, практики зрошення, або

іншої інформації, яка стосується конкретного поля. Наприклад, якщо комп'ютер користувача вибирає частину графіка робіт та вказує на застосування азоту, тоді накладення для введення даних може включати поля для введення кількості внесеного азоту, дату внесення, тип використовуваного добрива та будь-яку іншу інформацію, яка стосується застосування азоту.

В одному варіанті здійснення, менеджер даних забезпечує інтерфейс для створення однієї або декількох програм. "Програма," в даному контексті, відноситься до набору даних, які стосуються застосувань азоту, процедур висівання, застосування ґрунту, процедур обробки ґрунту, практики зрошення, або іншої інформації, яка може стосуватися одного або декількох полів, та яка може зберігатися в цифровому сховищі даних для повторного використання як набору для інших операцій. Після створення програми вона може концептуально застосуватися до одного або декількох полів, та посилення на програму можуть зберігатися в цифровому сховищі разом із даними, які ідентифікують поля. Таким чином, замість того, щоб вручну вводити однакові дані, які стосуються одних і тих самих застосувань азоту для багатьох різних полів, комп'ютер користувача може створити програму, яка вказує на конкретне застосування азоту, та потім застосувати програму до декількох різних полів. Наприклад, в огляді графіка робіт ФІГУРИ 5, два верхніх графіки робіт мають вибрану програму "весняного застосування", яка включає застосування 150 фунтів N/акр на початку квітня. Менеджер даних може забезпечувати інтерфейс для редагування програми. В одному варіанті здійснення, коли редагується конкретна програма, редагується кожне поле, яке було вибрано конкретною програмою. Наприклад, на ФІГУРІ 5, якщо редагується програма "Весняного застосування", то зменшується внесення азоту до 130 фунтів N/акр, верхні два поля можуть бути оновлені зі зменшеним внесенням азоту на основі відредагрованої програми.

В одному варіанті здійснення, у відповідь на отриманні редагувань до поля, яке було вибрано програмою, менеджер даних видаляє відповідність поля вибраній програмі. Наприклад, якщо додають азот застосування до верхнього поля на ФІГУРІ 5, інтерфейс може оновлюватись, щоб вказати, що програма "Весняного застосування" більше не застосовується до верхнього поля. При цьому застосування азоту на початку квітня може залишитися, оновлення програми "Весняного застосування" не змінять квітнєве внесення азоту.

ФІГУРА 6 зображує ілюстративний варіант здійснення представлення динамічної таблиці для введення даних. Використовуючи дисплей, зображений на ФІГУРІ 6, користувач може створювати та редагувати інформацію для одного або декількох полів. Менеджер даних може включати динамічні таблиці для введення інформації щодо азоту, висівання, способи практичного застосування, та ґрунт, як показано на ФІГУРІ 6. Для редагування певного запису, комп'ютер користувача може вибрати конкретний запис в динамічній таблиці та оновити значення. Наприклад, ФІГУРА 6 зображує поточне оновлення до цільового значення врожайності для другого поля. Крім того, комп'ютер користувача може вибрати одне або декілька полів для того, щоб застосувати одну або декілька програм. У відповідь на отримання вибору програми для конкретного поля, менеджер даних може автоматично заповнювати записи для конкретного поля на основі вибраної програми. Як і в огляді графіку робіт, менеджер даних може оновлювати записи для кожного поля пов'язаного з конкретною програмою у відповідь на отримання оновлення програми. Крім того, менеджер даних може видалити відповідність вибраної програми полю у відповідь на отримання редагування одного з записів для поля.

В варіанті здійснення, модельні та польові дані зберігаються у сховищі модельних та польових даних 160. Модельні дані включають дані моделей, створені для одного або декількох полів. Наприклад, модель сільськогосподарської культури може включати побудовану в цифровому вигляді модель розвитку сільськогосподарської культури на одному або декількох полях. "Модель," в даному контексті, відноситься до електронного збереженого в цифровому вигляді наборі виконуваних інструкцій та значення даних, пов'язаних між собою, які здатні отримувати та відповідати на програмний або інший цифровий дзвінок, виклик, або запит на вирішення на основі заданих вхідних значень для того, щоб отримати одне або декілька збережених або розрахованих вихідних значень, які можуть послужити серед іншого, основою комп'ютерно реалізованих рекомендацій, відображення вихідних даних або керування машиною. Кваліфіковані фахівці в даній галузі вважають, що моделі зручно виражаються з використанням математичних рівнянь, але дана форма вираження не обмежує моделі, розкриті в даному документі абстрактними поняттями; натомість кожна модель в даному документі має практичне застосування на комп'ютері у вигляді збережених виконуваних інструкцій та даних, які реалізують модель з використанням комп'ютера. Модель може включати модель минулих подій на одному або декількох полях, модель поточного стану одного або декількох полів, та/або модель прогнозованих подій на одному або декількох полях. Модельні та польові дані можуть зберігатися в структурах даних у пам'яті, рядках таблиці бази даних, в неструктурованих файлах або динамічних таблицях, або інших формах збережених цифрових даних.

В одному варіанті здійснення, кожна з інструкцій 180 включає набір з однієї або декількох сторінок основної пам'яті, такої як RAM, в сільськогосподарській інтелектуальній комп'ютерній системі 130, в яку завантаженими є інструкції, які виконуються, та яка, коли виконується, надає команду сільськогосподарській інтелектуальній комп'ютерній системі виконувати функції або операції, які є описаними в даному документі з посиланням на дані модулі. Інструкції можуть знаходитись в машинно-виконуваному коді в наборі інструкцій центрального процесора (CPU) та можуть бути скомпільовані на основі статистичного коду (програмного коду), написаного на JAVA, C, C++, OBJECTIVE-C, або на будь-якій іншій читаній людиною мові програмування або середовищі, окремо або в комбінації зі сценаріями на JAVASCRIPT, іншими мовами сценаріїв та іншим вихідним текстом програмування. Термін "сторінки" є призначеним для широкого позначення будь-якої області в межах основної пам'яті, та конкретна термінологія, яка використовується в системі, може відрізнятися в залежності від архітектури пам'яті або архітектури процесора. В іншому варіанті здійснення, кожна з інструкцій 180 також може представляти один або декілька файлів або проєктів вихідного коду, який зберігається цифровим способом в пристрої зберігання масиву, такому як енергонезалежна RAM або дискове сховище, в сільськогосподарській інтелектуальній комп'ютерній системі 130 або окремій системі зберігання, які при компіляції або інтерпретації організовують генерування виконуваних інструкцій, які, коли виконуються, надають команду сільськогосподарській інтелектуальній комп'ютерній системі виконувати функції або операції, які є описаними в даному документі з посиланням на дані модулі. Іншими словами, фігура креслення може представляти спосіб, в якому програмісти або розробники програмного забезпечення організовують та упорядковують вихідний код для подальшої

компіляції у виконуваний файл, або інтерпретації в байт-код або еквівалент, для виконання сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою 130.

Рівень апаратних засобів/віртуалізації 150 включає один або декілька центральних процесорних блоків (CPU), контролерів пам'яті та інших пристроїв, компонентів або елементів комп'ютерної системи, таких як енергозалежна або енергонезалежна пам'ять, енергонезалежна система зберігання, така як диск, та I/O пристрої або інтерфейси, як проілюстровано та описано, наприклад, у зв'язку з ФІГУРОЮ 4. Рівень 150 також може містити запрограмовані інструкції, які є сконфігурованими для підтримки віртуалізації, контейнеризації, або інших технологій.

З метою ілюстрації наочного приклада, ФІГУРА 1 показує обмежену кількість екземплярів певних функціональних елементів. Однак, в інших варіантах здійснення, може існувати будь-яка кількість таких елементів. Наприклад, варіанти здійснення можуть використовувати тисячі або мільйони різних мобільних обчислювальних пристроїв 104, пов'язаних з різними користувачами. Крім того, система 130 та/або зовнішній серверний комп'ютер 108 даних може бути реалізований з використанням двох або більше процесорів, ядер, кластерів, або екземплярів фізичних машин або віртуальних машин, сконфігурованих в окремому розташуванні або розташованих спільно з іншими елементами в центрі обробки даних, спільно використовуваною обчислювальною технікою або хмарними обчислювальними засобами.

## 2.2. ОГЛЯД ПРОГРАМ ЗАСТОСУВАННЯ

В одному варіанті здійснення, реалізація функцій, описаних в даному документі, з використанням однієї або декількох комп'ютерних програм або інших елементів програмного забезпечення, які завантажуються та виконуються з використанням одного або декількох комп'ютерів загального призначення призведуть до того, що комп'ютери загального призначення будуть сконфігуровані як конкретна машина або як комп'ютер, спеціально пристосований для виконання функцій, описаних в даному документі. Крім того, кожна блок-схема, описана далі в даному документі може служити окремо або в комбінації з описами процесів та функцій в прозі в даному документі, як алгоритми, плани або вказівки, які можуть використовуватись для програмування комп'ютера або логіки для реалізації функцій які описуються. Іншими словами, весь прозовий текст в даному документі, та всі фігури креслення, разом мають на меті забезпечити розкриття алгоритмів, планів або вказівок, яких достатньо, щоб дозволити кваліфікованому фахівцю запрограмувати комп'ютер для виконання функцій, які є описаними в даному документі, в комбінації з навичками та знаннями такого фахівця, враховуючи рівень навичок, які відповідають винаходам та розкриттям даного типу.

В одному варіанті здійснення, користувач 102 взаємодіє із сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою 130 з використанням керуючого польовими роботами обчислювального пристрою 104, сконфігурованого з операційною системою та однією або декількома прикладними програмами або програмами; керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 також може взаємодіяти із сільськогосподарською інтелектуальною комп'ютерною системою незалежно та автоматично під програмним контролем або логічним контролем, та безпосередня взаємодія користувача не завжди є потрібною. Керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 в цілому представляє один або декілька зі смартфону, PDA, планшетного обчислювального пристрою, портативного комп'ютера, настільного комп'ютера, робочої станції, або будь-яких інших обчислювальних пристроїв, здатних передавати та отримувати інформацію та виконувати функції, описані в даному документі. Керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може під'єднуватися через мережу з використанням мобільного додатку, який зберігається на обчислювальному пристрої, який керує польовими роботами 104, та в деяких варіантах здійснення, пристрій може бути під'єднаним з використанням кабелю 113 або конектора до сенсору 112 та/або контролеру 114. Конкретний користувач 102 може мати, експлуатувати або володіти та застосовувати, у зв'язку із системою 130, більше ніж одним керуючим польовими роботами обчислювальним пристроєм 104 в кожному окремо взятий момент часу.

Мобільний додаток може забезпечувати функціонування на боці клієнта, через мережу до одного або декількох мобільних обчислювальних пристроїв. В ілюстративному варіанті здійснення, керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може отримати доступ до мобільного додатку через веб-браузер або локальний клієнтський додаток або додаток. Керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може передавати дані на та отримувати дані з, одного або декількох інтерфейсних серверів, використовуючи веб-протоколи або формати, такі як HTTP, XML та/або JSON, або протоколи, специфічні для додатків. В ілюстративному варіанті здійснення, дані можуть приймати форму запитів та введення інформації користувачем, такої як польові дані, в мобільний обчислювальний пристрій. В деяких варіантах здійснення, мобільний додаток взаємодіє з апаратним та програмним забезпеченням для відстеження місцезнаходження на керуючому польовими роботами обчислювальному пристрої 104, який визначає місце розташування керуючого польовими роботами обчислювального пристрою 104 з використанням стандартних способів відстеження, таких як мультilaterація радіосигналів, система глобального позиціонування (GPS), системи позиціонування WiFi, або інші способи мобільного позиціонування. В деяких випадках, дані про місцезнаходження або інші дані, пов'язані з пристроєм 104, користувачем 102, та/або обліковим(ими) записом(ами) користувачів можуть бути отримані шляхом запитів до операційної системи пристрою або шляхом запиту програми на пристрої для отримання даних з операційна система.

В одному варіанті здійснення, керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 надсилає польові дані 106 до сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130, який містить або включає, але не обмежується цим, значення даних, які представляють одне або декілька з: географічного розташування одного або декількох полів, інформації про обробку ґрунту для одного або декількох полів, сільськогосподарських культур, посіяних на одному або декількох полях, та дані щодо ґрунту, вилученого з одного або декількох полів. Керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може надсилати польові дані 106 у відповідь на вхід користувача від користувачів 102, вказуючи значення даних для одного або декількох полів. Крім того, керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може автоматично надсилати польові дані 106, коли одне або декілька із значення даних стає доступним для керуючого польовими роботами обчислювального пристрою 104. Наприклад, керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може бути з'єднаний з можливістю зв'язку з віддаленим сенсором 112 та/або контролером додатків 114, які включають сенсор зрошення

та/або контролер зрошення. У відповідь на отримання даних, які вказують на те, що контролер додатків 114 випускав воду на одне або декілька полів, керуючий польовими роботами обчислювальний пристрій 104 може надсилати польові дані 106 до сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130, яка вказує на те, що вода випускалась на одному або декількох полях. Польові дані 106, ідентифіковані в даному розкритті, можуть вводитись та передаватись з використанням електронних цифрових даних, які передаються між обчислювальними пристроями з використанням параметризованих URL-адрес через HTTP, або іншого відповідного протоколу зв'язку або обміну повідомленнями.

Комерційним прикладом мобільного додатка є CLIMATE FIELDVIEW, комерційно доступний від The Climate Corporation, San Francisco, California. Додаток CLIMATE FIELDVIEW, або інші додатки можуть бути модифікованими, розширеними, або адаптованими для включення ознак, функцій та програмування, які не були розкриті раніше дати подання цього розкриття. В одному варіанті здійснення, мобільний додаток включає інтегровану платформу програмного забезпечення, яка дозволяє виробнику приймати рішення, які ґрунтуються на фактах щодо їх роботи, оскільки він поєднує історичні дані про поля виробника з будь-якими іншими даними, які виробник хоче порівняти. Комбінації та порівняння можуть виконуватися в режимі реального часу та ґрунтуватися на наукових моделях, які забезпечують потенційні сценарії, які дозволяють виробнику приймати кращі, більш обґрунтовані рішення.

ФІГУРА 2 ілюструє два види прикладу логічної організації наборів інструкцій в основній пам'яті, коли прикладний мобільний додаток завантажується для виконання. На ФІГУРІ 2, кожен іменований елемент представляє ділянку однієї або декількох сторінок RAM або іншої основної пам'яті, або одного або декількох блоків дискового сховища або іншого енергонезалежного сховища, та запрограмовані інструкції в межах даних ділянок. В одному варіанті здійснення, з огляду на (а), мобільний комп'ютерний додаток 200 включає поля даних облікових записів щодо спільного використання інструкцій 202, інструкції щодо огляду та зміни 204, інструкції щодо книги цифрової карти 206, інструкції щодо насіння та висівання 208, інструкції щодо азоту 210, інструкції щодо погоди 212, інструкції щодо здоров'я полів 214, та інструкції щодо експлуатації 216.

В одному варіанті здійснення, мобільний комп'ютерний додаток 200 включає обліковий запис, поля, передачу даних, інструкції щодо спільного використання 202, які є запрограмованими на отримання, трансляцію, та передачу польових даних від сторонніх систем за допомогою ручного завантаження або API. Типи даних можуть включати межі полів, карти врожайності, карти висівання, результати випробувань ґрунту, застосовувані карти та/або зони керування, серед іншого. Формати даних можуть включати, зокрема, файли форм, власні формати даних третіх сторін та/або експорт інформаційної системи керування фермерськими господарствами (FMIS), серед іншого. Отримання даних може відбуватися за допомогою ручного завантаження, електронної пошти з вкладенням, зовнішніх API, які передають дані до мобільного додатку, або інструкцій, які викликають API зовнішніх систем для завантаження даних на мобільний додаток. В одному варіанті здійснення, мобільний комп'ютерний додаток 200 включає папку вхідних даних. У відповідь на отримання вибору папки вхідних даних, мобільний комп'ютерний додаток 200 може відображати графічний інтерфейс користувача для ручного завантаження файлів даних та імпортування завантажених файлів до менеджера даних.

В одному варіанті здійснення, інструкції щодо книги цифрової карти 206 містять рівні даних польових карт, які зберігаються в пам'яті пристрою та є запрограмованими за допомогою засобів візуалізації даних та приміток геопросторових полів. Це забезпечує виробникам зручну інформацію під рукою для довідки, реєстрації та візуального уявлення про результати роботи на полі. В одному варіанті здійснення, інструкції щодо огляду та зміни 204 є запрограмованими на забезпечення загальноопераційного уявлення про те, що є важливим для виробника, та своєчасних рекомендацій щодо вжиття заходів або зосередження на конкретних проблемах. Це дозволяє виробнику зосередити час на тому, що потребує уваги, заощадити час та зберегти урожай протягом усього сезону. В одному варіанті здійснення, інструкції щодо насіння та висівання 208 є запрограмованими на забезпечення інструментів для вибору насіння, гібридного розміщення, та створення сценарію, включаючи створення сценарію зі змінною швидкістю (VR), на основі наукових моделей та емпіричних даних. Це дозволяє виробникам максимізувати врожайність або рентабельність інвестицій завдяки оптимізованому придбання, розміщенню та популяції насіння.

В одному варіанті здійснення, інструкції щодо створення сценаріїв 205 є запрограмованими на забезпечення інтерфейсу для генерування сценаріїв, включаючи сценарії родючості зі змінною швидкістю (VR). Інтерфейс дозволяє виробникам створювати сценарії для польових реалізацій, таких як застосування поживних речовин, висівання, та зрошення. Наприклад, інтерфейс сценарію висівання може містити інструменти для ідентифікації типу насіння для висівання. Отримавши вибір типу насіння, мобільний комп'ютерний додаток 200 може відображати одне або декілька полів, розбитих на зони керування, такі як рівні даних польових карт, створені як частина інструкцій щодо книги цифрової карти 206. В одному варіанті здійснення, зони керування містять зони ґрунту, а також панель, яка ідентифікує кожну зону ґрунту та назву ґрунту, текстуру, дренаж для кожної зони, або інші польові дані. Мобільний комп'ютерний додаток 200 може також відображати інструменти для редагування або створення, такі як графічні інструменти для креслення зон керування, таких як зони ґрунту, на карті одного або декількох полів. Процедури висівання можуть застосовуватися до всіх зон керування, або різні процедури висівання можуть застосовуватися до різних підмножин зони керування. Коли створюється сценарій, мобільний комп'ютерний додаток 200 може зробити сценарій доступним для завантаження у форматі, який може читатися контролером програми, такому як заархівований або стислий формат. Крім того, та/або альтернативно, сценарій може бути надісланий безпосередньо на кабінний комп'ютер 115 з мобільного комп'ютерного додатку 200 та/або завантаженого на один або декілька серверів даних та збережений для подальшого використання.

В одному варіанті здійснення, інструкції щодо азоту 210 є запрограмованими на забезпечення інструментів для інформування рішень щодо азоту шляхом візуалізації доступності азоту для сільськогосподарських культур. Це дозволяє виробникам максимізувати врожайність або рентабельність інвестицій за рахунок оптимізованого внесення азоту протягом сезону. Приклади запрограмованих функцій включають відображення таких зображень, як зображення SSURGO для забезпечення можливості креслення зон застосування добрив та/або зображення, які генеруються на основі даних щодо ґрунту під-поля, таких як дані, отримані від сенсорів, з високою просторовою роздільною здатністю (такою як міліметри або менше, в залежності від близькості сенсору та

роздільної здатності); завантаження існуючих визначених виробником зон; забезпечення графіку доступності рослинних поживних речовин та/або карти, які дозволяють налаштувати застосування азоту в декількох зонах; виведення сценаріїв для керування машинами; інструменти для введення масивів та коригування даних; та/або, серед іншого, карти для візуалізації даних. "Введення масивів даних," в даному контексті, може означати введення даних один раз та потім застосування одних і тих самих даних до декількох полів та/або зон, визначених в системі; приклади даних можуть включати дані про застосування азоту, однакові для багатьох полів та/або зон одного і того ж виробника, але таке введення масивів даних застосовується до введення будь-якого типу польових даних в мобільному комп'ютерному додатку 200. Наприклад, інструкції щодо азоту 210 можуть бути запрограмованими для прийняття визначень застосувань азоту та способів практичного застосування програм та прийняття користувачем вказівки щодо введення, який застосовує дані програми на декількох полях. "Програми щодо застосування азоту," в даному контексті, стосуються збережених, іменованих наборів даних, які асоціюються з: назвою, кодом кольору або іншим ідентифікатором, однією або декількома датами застосування, типами матеріалу або продукту для кожної з дат та кількості, способом застосування або включення, таким як введення або транслявання, та/або кількості або норми застосування для кожної з дат, сільськогосподарською культурою або гібридом, які є об'єктом застосування, серед іншого. "Програми щодо способів практичного застосування азоту," в даному контексті, стосуються збережених, іменованих наборів даних, які асоціюються з: назвами способів практичного застосування; попередньою сільськогосподарською культурою; системою обробки ґрунту; дата первинної обробки ґрунту; одну або декілька попередніх систем обробки ґрунту, які використовувались; один або декілька показників типу застосування, таких як гній, який використовувався. Інструкції щодо азоту 210 також можуть бути запрограмовані для генерування та спричинення відображення азотного графіка, який вказує на прогнози використання рослинами зазначеного азоту та чи прогнозується надлишок або дефіцит; в деяких варіантах здійснення, різні кольорові індикатори можуть сигналізувати про величину надлишку або про величину дефіциту. В одному варіанті здійснення, азотний графік включає графічне відображення на комп'ютерному пристрої який містить низку рядків, кожен рядок пов'язаний та ідентифікується із полем; які вказують яка сільськогосподарська культура висівається на полі, розмір поля, розташування поля, та графічне зображення периметра поля; в кожному рядку, графік робіт за місяць із графічними показниками, які вказують кожне внесення азоту та кількість у пунктах, що співвідносяться з назвами місяців; та числові та/або кольорові показники надлишку або дефіциту, в яких колір вказує на величину.

В одному варіанті здійснення графік азоту може включати одну або декілька введених користувачем ознак, таких як циферблати або повзунки, для динамічної зміни програм внесення азоту та способів практичного застосування, щоб користувач міг оптимізувати свій графік азоту. Потім користувач може використовувати свій оптимізований графік азоту та відповідні програми внесення азоту та способи практичного застосування азоту для реалізації одного або декількох сценаріїв, включаючи сценарії родючості зі змінною швидкістю (VR). Інструкції щодо азоту 210 також може бути запрограмований для генерування та створення відображення карти щодо азоту, яка вказує прогнози щодо використання рослинами зазначеного азоту, та чи прогнозується надлишок або дефіцит; в деяких варіантах здійснення різні кольорові індикатори можуть сигналізувати про величину надлишку або про величину дефіциту. Карта щодо азоту може відображати прогнози щодо використання рослинами зазначеного азоту, та також прогнозується надлишок або дефіцит для різних часів в минулому та майбутньому (таким як щодня, щотижня, щомісяця або щороку) з використанням числових та/або кольорових індикаторів надлишку або дефіциту, в якому колір вказує на величину. В одному варіанті здійснення, карта щодо азоту може включати одну або декілька функцій введення користувачем, таких як циферблати або повзунки, для динамічної зміни програм внесення азоту та способів практичного застосування, таким чином, що користувач може оптимізувати свою карту щодо азоту, таким як, щоб отримати бажану кількість надлишку до дефіциту. Потім користувач може використовувати свою оптимізовану карту азоту та відповідні програми щодо внесення азоту та способів практичного застосування для реалізації одного або декількох сценаріїв, включаючи сценарії родючості зі змінною швидкістю (VR). В інших варіантах здійснення, подібні інструкції до інструкцій щодо азоту 210 може використовувати для програм щодо внесення інших поживних речовин (таких як фосфор та калій), застосування пестициду, та зрошення.

В одному варіанті здійснення, інструкції щодо погоди 212 є запрограмованими на забезпечення останніх даних про погоду та прогнозованої погоднієї інформації для конкретних полів. Це дозволяє виробникам економити час та мати ефективне інтегроване відображення стосовно щоденних оперативних рішень.

В одному варіанті здійснення, інструкції щодо здоров'я полів 214 є запрограмованими на забезпечення своєчасних зображень дистанційного зондування, які висвітлюють міжсезонні зміни сільськогосподарської культури та потенційні проблеми. Приклади запрограмованих функцій включають перевірку хмарності для виявлення можливих хмар або тіней хмар; визначення показників азоту на основі польових зображень; графічну візуалізацію пошукових рівнів, включаючи, наприклад, ті, які стосуються стану полів, та перегляд та/або спільний доступ до пошукових нотаток; та/або завантаження супутникових знімків з різних джерел та визначення пріоритетів зображень для виробника, серед іншого.

В одному варіанті здійснення, інструкції з експлуатації 216 є запрограмовані на забезпечення звітів, аналізу та інструментальних даних, використовуючи дані на фермі для оцінки, розуміння та прийняття рішень. Це дозволяє виробнику шукати покращених результатів на наступний рік шляхом висновків, які ґрунтуються на фактах, про те, чому така рентабельність інвестицій була на попередніх рівнях, та розуміння чинників, які обмежують врожайність. Інструкції з експлуатації 216 можуть бути запрограмованими для зв'язку через мережу/мережі 109 із програмами аналізу внутрішнього виробництва, які виконуються в сільськогосподарській інтелектуальній комп'ютерній системі 130 та/або на зовнішньому серверному комп'ютері 108 даних, та є налаштованими на аналіз таких показників, як врожайність, диференційованість врожайності, гібрид, популяція, зона SSURGO, досліджувані властивості ґрунту або висота, серед іншого. Запрограмовані звіти та аналіз можуть включати аналіз варіабельності врожайності, оцінку ефекту обробки, порівняльний показник врожайності та інші показники щодо інших виробників на основі анонімних даних, зібраних від багатьох виробників, або даних про насіння та висівання, серед іншого.

Додатки, які мають інструкції, налаштовані таким чином, можуть бути реалізовані для різних платформ

обчислювальних пристроїв, при цьому зберігаючи однаковий загальний вигляд інтерфейсу користувача. Наприклад, мобільний додаток може бути запрограмований для виконання на планшетах, смартфонах або серверних комп'ютерах, до яких доступ здійснюється з використанням браузерів на клієнтських комп'ютерах. Крім того, мобільний додаток, налаштований для планшетних комп'ютерів або смартфонів, може забезпечувати повний досвід роботи додатків або досвід роботи з кабінним комп'ютером, який є прийнятним для відображення та обробки можливостей кабінного комп'ютера 115. Наприклад, посилаючись тепер на вигляд (b) на ФІГУРІ 2, в одному варіанті здійснення додаток 220 кабінного комп'ютера може містити інструкції щодо карт-кабіни 222, інструкції щодо віддаленого перегляду 224, інструкції щодо збору та передачі даних 226, інструкції щодо машинних попереджень 228, інструкції щодо передачі сценаріїв 230, та інструкції щодо пошукової kabini 232. База коду для інструкцій перегляду (b) може бути такою ж, як і для перегляду (a) та виконувати файли, які реалізують код, можуть бути запрограмованими на виявлення типу платформи, на якій вони виконуються, та викриття, через графічний інтерфейс користувача, лише тих функцій, які відповідають платформі kabini або повній платформі. Даний підхід дозволяє системі розпізнавати різний досвід користування, який підходить для середовища в кабіні та різних технологічних умов kabini. Інструкції щодо карт-кабіни 222 можуть бути запрограмованими на забезпечення виглядів карти на полях, ферм або регіонів, які є корисними для керування роботою машини. Інструкції щодо віддаленого перегляду 224 можуть бути запрограмованими на включення, керування, та забезпечують уявлення про діяльність машини в режимі реального часу або майже в режимі реального часу для інших обчислювальних пристроїв, підключених до системи 130 через бездротові мережі, дротові конектори або адаптери тощо. Інструкції щодо збору та передачі даних 226 можуть бути запрограмованими на включення, керування, та забезпечення передачі даних, зібраних на сенсорах та контролерах до системи 130 через бездротові мережі, дротові конектори або адаптери тощо. Інструкції щодо машинних попереджень 228 можуть бути запрограмованими на виявлення проблем з роботою машини або інструментів, які пов'язані з кабінною, та на генерування попереджень оператору. Інструкції щодо передачі сценаріїв 230 можуть бути налаштовані для передачі сценаріїв інструкцій, які є сконфігурованою для керування машинними операціями або збору даних. Інструкції щодо пошукової kabini 232 можуть бути запрограмованими для відображення попереджень на основі місцезнаходження та інформації, отриманої від системи 130 на основі розташування керуючого польовими роботами обчислювального пристрою 104, сільськогосподарського пристрою 111, або сенсорів 112 у полі, та для того, щоб приймати, керувати та забезпечувати передачу пошукових спостережень на основі розташування до системи 130 на основі місцезнаходження сільськогосподарського пристрою 111 або сенсорів 112 на полі.

### 2.3. ДАНІ, ЯКІ ВВОДЯТЬ В КОМП'ЮТЕРНУ СИСТЕМУ

В одному варіанті здійснення, зовнішній серверний комп'ютер 108 даних зберігає зовнішні дані 110, включаючи дані щодо ґрунту, які представляють склад ґрунту для одного або декількох полів, та дані про погоду, які представляють температуру та кількість опадів на одному або декількох полях. Дані про погоду можуть включати дані про минулу та сучасну погоду, а також прогнози щодо майбутніх даних про погоду. В одному варіанті здійснення, зовнішній серверний комп'ютер 108 даних включає низку серверів, розміщених різними установами. Наприклад, перший сервер може містити дані про склад ґрунту, тоді як другий сервер може містити дані про погоду. Крім того, дані про склад ґрунту можуть зберігатися на декількох серверах. Наприклад, один сервер може зберігати дані, які представляють відсоток піску, мулу та глини у ґрунті, тоді як другий сервер може зберігати дані, які представляють відсоток органічних речовин (ОМ) в ґрунті.

В одному варіанті здійснення, віддалений сенсор 112 включає один або декілька сенсорів, які є запрограмованими або налаштованими на отримання одного або декількох спостережень. Віддалений сенсор 112 може представляти собою повітряні сенсори, такі як супутники, сенсори транспортних засобів, сенсори обладнання для висівання, сенсори щодо обробки ґрунту, сенсори щодо застосування добрив або інсектициду, сенсори жнивarki та будь-якого іншого обладнання, здатного приймати дані з одного або декількох полів. В варіанті здійснення, контролер додатків 114 є запрограмованим або налаштованим на отримання інструкції від сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130. Контролер додатків 114 також може бути запрограмований або налаштований для керування робочим параметром сільськогосподарського транспортного засобу або обладнання. Наприклад, контролер додатків може бути запрограмований або налаштований для керування робочими параметрами транспортного засобу, такого як трактор, обладнання для висівання, обладнання для обробки ґрунту, обладнання для внесення добрив або інсектициду, обладнання для збору врожаю, або інше сільськогосподарське обладнання, таке як водяний кран. Інші варіанти здійснення можуть використовувати будь-яку комбінацію з сенсорів та контролерів, з яких нижче є тільки вибраними прикладами.

Система 130 може отримувати або приймати дані під контролем користувача 102 на масовій основі від великої кількості виробників, які внесли дані в загальнодоступну систему баз даних. Дана форма отримання даних може називатись "введенням даних вручну", оскільки одна або декілька керованих користувачем операцій на комп'ютері вимагаються для отримання даних для використання системою 130. Як приклад, додаток CLIMATE FIELDVIEW, комерційно доступна від The Climate Corporation, San Francisco, California, може експлуатуватись для того, щоб експортувати дані до системи 130 для зберігання у сховищі 160.

Наприклад, системи контролювання насіння можуть як керувати компонентами сівалки, так і отримувати дані про висівання, включаючи сигнали від сенсорів насіння через сигнальний джгут, який включає основний ланцюг CAN та двоточкові з'єднання для реєстрації та/або діагностики. Системи контролювання насіння можуть бути запрограмовані або налаштовані для відображення інтервалу між насінням, популяції та іншої інформації для користувача через кабінний комп'ютер 115 або інші пристрої в межах системи 130. Приклади є розкритими в патенті США No. 8,738,243 та патентній публікації США 20150094916, та представлено розкриття передбачає знання про інші розкриті патентів.

Подібним чином, системи контролю врожайності можуть містити сенсори врожайності для жнивного пристрою, які надсилають дані вимірювання врожайності до кабінного комп'ютера 115 або на інші пристрої в межах системи 130. Системи контролю врожайності можуть використовувати один або декілька віддалених сенсорів 112, для того, щоб отримувати вимірювання вологості зерна в комбайні або іншому жнивному пристрої та передавати ці вимірювання користувачу через кабінний комп'ютер 115 або інші пристрої в межах системи 130.

В одному варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись з будь-яким рухомих транспортним засобом або пристроєм типу, описаного в іншому місці в даному документі, включають кінематичні сенсори та сенсори положення. Кінематичні сенсори можуть містити будь-які сенсори швидкості, такі як радарні або колісні сенсори швидкості, акселерометри, або гіроскопи. Сенсори положення можуть містити GPS-приймачі, або приймачі-передавачі, або додатки щодо розташування або відображення на карті на основі Wi-Fi, які є запрограмованими для визначення місцезнаходження, серед іншого, на основі найближчих точок доступу WiFi.

В одному варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись з тракторами або іншими рухомих транспортними засобами, включають сенсори швидкості обертання двигуна, датчики витрати палива, лічильники площі або лічильники відстані, які взаємодіють з GPS або радіолокаційними сигналами, сенсорами швидкості РТО (відбору потужності), датчиками гідравліки трактора, налаштованими для виявлення параметрів гідравліки, таких як тиск або витрата, та/або та швидкість обертання гідравлічного насоса, датчики швидкості обертання коліс або датчики ковзання коліс. В одному варіанті здійснення, приклади контролерів 114, які можуть використовуватись з тракторами, включають гідравлічні регулятори спрямованості, регулятори тиску, та/або контролери потоку; регулятори частоти обертання гідравлічного насоса; контролери швидкості або регулятори швидкості; контролери положення зчеплення; або контролери положення коліс, які забезпечують автоматичне рульове керування.

В одному варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись з обладнанням для посіву насіння, таким як сівалки, рядкові сівалки, або пневматичні сівалки, включають сенсори насіння, які можуть бути оптичними, електромагнітними, або контактними сенсорами; сенсорами притискової сили, такими як штифти навантаження, тензодатчики, сенсори тиску; сенсорами властивостей ґрунту, такими як сенсори відбиття, сенсори вологості, сенсори електропровідності, сенсори оптичних залишків, або температурні сенсори; сенсорами критеріїв експлуатаційних компонентів, такими як сенсори глибини висівання, сенсори тиску в притисковому циліндрі, сенсори швидкості насіннєвого диска, кодера насіннєвого привідного індукторного двигуна, сенсори швидкості насіннєвої конвеєрної системи, або сенсори рівня вакууму; або сенсорами внесення пестицидів, такими як оптичні або інші електромагнітні сенсори, або контактні сенсори. В варіанті здійснення, приклади контролерів 114, які можуть використовуватись з таким обладнанням для посіву насіння, включають: контролери складування панелі інструментів, такі як контролери для клапанів, пов'язаних з гідравлічними циліндрами; регулятори притискової сили, такі як контролери для клапанів, пов'язаних з пневматичними циліндрами, подушками безпеки або гідравлічними циліндрами, та запрограмовані для прикладання притискової сили до окремих рядних блоків або цілої рами сівалки; контролери глибини висівання, такі як лінійні пускачі; контролери дозування, таким як привідні індукторні двигуни електричного насіннєвого лічильника, привідні індукторні двигуни гідравлічного насіннєвого лічильника, або муфти перемикачів ехотралу; контролери відбору піврида, такі як насіннєвого лічильника привідні індукторні двигуни, або інші силові проводи, запрограмовані для вибіркового дозволу або запобігання надходженню насіння або повітряно-насіннєвого суміші з доставки насіння або з насіннєвих лічильників або центральних бункерів для сипучих матеріалів; контролери дозування, такі як привідні індукторні двигуни електричного насіннєвого лічильника, або привідні індукторні двигуни гідравлічного насіннєвого лічильника; контролери насіннєвої конвеєрної системи, такі як контролери для транспортерного двигуна насіннєвого конвеєра для подачі; маркерні контролери, такі як контролер для пневматичного або гідравлічного силового приводу; або контролери норми внесення пестицидів, такі як контролери приводу дозування, контролери розміру отвору або положення.

В варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись з обладнанням для обробки ґрунту, включають сенсори положення інструментів, такі як хвостовики або диски; сенсори положення інструменту для таких інструментів, які є сконфігурованими для детектування глибини, кута нахилу або поперечного інтервалу; сенсори притискової сили; або датчики сили тяги. В одному варіанті здійснення, приклади контролерів 114, які можуть використовуватись з обладнанням для обробки ґрунту, включають контролери притискової сили або контролери положення інструментів, такі як контролери, налаштовані для керування глибиною інструменту, кутом нахилу або бічним інтервалом.

В одному варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись в залежності від пристрою для застосування добрив, інсектициду, фунгіциду та подібного, такого як пускові системи добрив на сівалці, пристрій для внесення добрив під ґрунт, або розприскувачі добрив, включають: датчики критеріїв системи з текучим середовищем, такі як сенсори потоку або сенсори тиску; сенсори, які показують, які клапани розпилювальної головки або клапани лінії текучого середовища є відкритими; сенсори, пов'язаного з резервуарами, такі як датчики рівня заповнення; секційні або загальносистемні датчики лінії живлення, або датчики лінії живлення, специфічні для ряду, або кінематичні сенсори, такі як акселерометри розміщені на стрілах обприскувача. В варіанті здійснення, приклади контролерів 114, які можуть використовуватись з таким пристроєм, включають контролери швидкості насоса; контролери клапанів, які є запрограмованими для керування тиском, витратою, напрямком, PWM та подібним; або силові проводи положення, такі як для висоти обприскування, глибина заглиблення в ґрунт, або положення нахилу.

В одному варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись із косарками, включають монітори врожайності, такі як тензодатчики ударної пластини або сенсори положення, ємнісні сенсори потоку, сенсори навантаження, сенсори маси, або сенсори крутного моменту, пов'язані з елеваторами або шнеками, або оптичні або інші електромагнітні сенсори висоти зерна; сенсори вологості зерна, такі як ємнісні сенсори; сенсори втрат зерна, включаючи ударні, оптичні, або ємнісні сенсори; датчики критеріїв роботи жатки, такі як датчик висоти жатки, тип жатки, зазор пластини палуби, сенсори швидкості подачі та сенсори швидкості барабана; сенсори критеріїв роботи сепаратора, такі як увігнутий зазор, швидкість обертання ротора, зазор колодки або датчики зазору шарів; сенсори шнекового транспортера щодо положення, роботи або швидкості; або сенсори швидкості обертання двигуна. В одному варіанті здійснення, приклади контролерів 114, які можуть використовуватись з косарками, включають контролери критеріїв роботи жатки щодо елементів, таких як висота жатки, тип жатки, зазор пластини палуби, швидкість подачі, або швидкість барабана; контролери критеріїв роботи сепаратора щодо характеристик, таких як увігнутий зазор, частота обертання ротора, зазор колодки, або зазор шафри; або контролери положення, роботи або швидкості шнека.

В одному варіанті здійснення, приклади сенсорів 112, які можуть використовуватись на візках для зерна, включають сенсори маси, або сенсори положення, роботи або швидкості шнека. В одному варіанті здійснення, приклади контролерів 114, які можуть використовуватись на візках для зерна, включають контролери положення, роботи або швидкості шнека.

В варіанті здійснення, приклади сенсорів 112 та контролерів 114 можуть бути встановлені на безпілотному повітряному літальному апараті (UAV) або "дронах." Такі сенсори можуть включати камери з детекторами, ефективні для будь-якого діапазону електромагнітного спектра, включаючи видиме світло, інфрачервоне, ультрафіолетове, ближнє інфрачервоне (NIR) тощо; акселерометри; висотоміри; температурні сенсори; сенсори вологості; датчики повного тиску, або інші датчики швидкості, або сенсори швидкості вітру; сенсори часу автономної роботи; або радіолокаційні випромінювачі та прилади виявлення відбитої радіолокаційної енергії; інші випромінювачі електромагнітного випромінювання та пристрій для виявлення відбитого електромагнітного випромінювання. Такі контролери можуть включати пристрої керування або регулювання двигуном, контролери поверхні керування, контролери камери або контролери, запрограмовані на включення, роботу, отримання даних, керування та налаштування будь-яких із вищезазначених сенсорів. Приклади є розкритими в заявці на патент США No. 14/831,165, та представлене розкриття залучає відомості цього іншого патентного розкриття.

В варіанті здійснення, сенсори 112 та контролери 114 можуть бути прикріплені до пристрою для відбору проб та вимірювань ґрунту, який є сконфігурований або запрограмований для відбору проб ґрунту та проведення хімічних досліджень ґрунту, досліджень щодо вологості ґрунту, та інших досліджень, які стосуються ґрунту. Наприклад, використовуватись може пристрій, розкритий в патенті США No. 8,767,194 та в патенті США No. 8,712,148, та представлене розкриття залучає відомості цих інших патентних розкриттів.

В варіанті здійснення, сенсори 112 та контролери 114 можуть містити погодні пристрої для моніторингу погодних умов на полях. Наприклад, може використовуватись пристрій, розкритий в попередній заявці на патент США No. 62/154,207, поданій 29 квітня 2015 року, попередній заявці на патент США No. 62/175,160, поданій 12 червня 2015 року, попередній заявці на патент США No. 62/198,060, поданій 28 липня 2015 року, та попередній заявці на патент США No. 62/220,852, поданій 18 вересня 2015 року, та представлене розкриття залучає відомості з даних патентних розкриттів.

#### 2.4. ОГЛЯД СПОСОБУ - НАВЧАННЯ АГРОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

В варіанті здійснення, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є запрограмованою або налаштованою для створення агрономічної моделі. В даному контексті, агрономічна модель представляє собою структуру даних в пам'яті сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130, яка включає польові дані 106, такі як ідентифікаційні дані та дані щодо врожаю для одного або декількох полів. Агрономічна модель може також включати розраховані агрономічні властивості, які описують, або умови, які можуть впливати на ріст однієї або декількох сільськогосподарських культур на полі, або на властивості однієї або декількох сільськогосподарських культур, або обидва. Крім того, агрономічна модель може включати рекомендації на основі агрономічних чинників, такі як рекомендації стосовно сільськогосподарської культури, рекомендації стосовно зрошення, рекомендації стосовно висівання, рекомендації стосовно добрив, рекомендації стосовно фунгіциду, рекомендації стосовно пестициду, рекомендації стосовно врожаю та інші рекомендації стосовно керування сільськогосподарською культурою. Агрономічні чинники можуть також використовуватись для оцінки одного або декількох результатів, пов'язаних із сільськогосподарською культурою, таких як агрономічна врожайність. Агрономічна врожайність сільськогосподарської культури представляє собою оцінку кількості сільськогосподарської культури, яка виробляється, або в деяких прикладах доходу або прибутку, отриманого від виробленої сільськогосподарської культури.

В варіанті здійснення, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 може використовувати попередньо налаштовану агрономічну модель для обчислення агрономічних властивостей, пов'язаних з отриманою на даний час інформацією про місцезнаходження та сільськогосподарську культуру для одного або декількох полів. Попередньо сконфігурована агрономічна модель ґрунтується на попередньо оброблених польових даних, включаючи, але не обмежуючись цим, ідентифікаційні дані, дані щодо врожаю, дані про добрива, та дані про погоду. Попередньо сконфігурована агрономічна модель може бути перехресно перевіреною для того, щоб забезпечити точність моделі. Перехресна перевірка може включати порівняння із перевіркою даних на місцевості, яка порівнює прогнозовані результати з фактичними результатами на полі, наприклад, порівняння оцінки кількості опадів з датчиком дощу або сенсором, який надає дані про погоду в тому самому або сусідньому місцезнаходженні, або оцінку вмісту азоту при вимірюванні в зразку ґрунту.

ФІГУРА 3 ілюструє запрограмований процес, за допомогою якого сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система генерує одну або декілька попередньо сконфігурованих агрономічних моделей з використанням польових даних, наданих одним або декількома джерелами даних. ФІГУРА 3 може служити як алгоритм або інструкції для програмування функціональних елементів сільськогосподарської інтелектуальної комп'ютерної системи 130 для здійснення операцій, які зараз описуються.

В блоці 305, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є сконфігурованою або запрограмованою для реалізації агрономічних даних, попередньо обробляючи польові дані, отримані з одного або декількох джерел даних. Польові дані, отримані з одного або декількох джерел даних, можуть бути попередньо оброблені з метою усунення шуму, спотворюючих ефектів та незрозумілих чинників в агрономічних даних, включаючи виміряні екстремальні значення, які можуть негативно вплинути на отримані значення польових даних. Варіанти здійснення агрономічних даних, які попередньо обробляються, може включати, але не обмежуються цим, видалення значень даних, які зазвичай асоціюються з екстремальними значеннями даних, конкретні виміряні точки даних, які, як відомо, без потреби викривляють інші значення даних, згладжування даних, агрегування або методи вибірки, які використовуються для видалення або зменшення адитивних або мультиплікативних ефектів від шуму, та інші способи фільтрації або виведення даних, що використовуються для забезпечення чітких відмінностей між позитивними та негативними введеннями даних.

В блоці 310, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є сконфігурованою або запрограмованою для здійснення вибору підмножини даних з використанням попередньо оброблених польових даних для того, щоб ідентифікувати набори даних, корисних для початкового формування агрономічної моделі.

Сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 може реалізовувати способи вибору підмножини даних, включаючи, але не обмежуючись цим, спосіб генетичного алгоритму, спосіб усіх моделей підмножин, спосіб послідовного пошуку, спосіб поетапної регресії, спосіб оптимізації за потоком частинок, та спосіб мурашиного алгоритму оптимізації. Наприклад, спосіб вибору генетичного алгоритму використовує адаптивний евристичний алгоритм пошуку, на основі еволюційних принципів природного відбору та генетики, для визначення та оцінки наборів даних в рамках попередньо оброблених агрономічних даних.

В блоці 315, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є сконфігурованою або запрограмованою для здійснення оцінки набору даних на місцях. В варіанті здійснення, конкретний набір даних полів оцінюється шляхом створення агрономічної моделі та використання конкретних порогових значень якості для створеної агрономічної моделі. Агрономічні моделі можуть порівнюватися та/або перевірятися з використанням одного або декількох способів порівняння, таких як, але не обмежуючись цим, середньоквадратична похибка з перехресною перевіркою шляхом виключення по одному (RMSECV), середня абсолютна похибка, та середня похибка у відсотках. Наприклад, RMSECV може перехресно перевіряти агрономічні моделі шляхом порівняння прогнозованих значень агрономічних властивостей, створених агрономічною моделлю по відношенню до історичних значень агрономічних властивостей, зібраних та проаналізованих. У варіанті здійснення, логіка оцінки агрономічного набору даних використовується як цикл зворотного зв'язку, де агрономічні набори даних, які не відповідають налаштованим порогам якості, використовуються під час майбутніх етапів вибору підмножини даних (блок 310).

В блоці 320, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є сконфігурованою або запрограмованою для реалізації створення агрономічної моделі на основі перехресно підтверджених агрономічних наборів даних. В одному варіанті здійснення, створення агрономічної моделі може реалізовувати багатовимірну техніку регресії для створення попередньо сконфігурованих агрономічних даних моделей.

В блоці 325, сільськогосподарська інтелектуальна комп'ютерна система 130 є сконфігурованою або запрограмованою для зберігання попередньо сконфігурованих агрономічних моделей даних для майбутньої оцінки польових даних.

## 2.5. ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ - ОГЛЯД АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Відповідно до одного варіанта здійснення, способи, описані в даному документі, є реалізованими одним або декількома обчислювальними пристроями спеціального призначення. Обчислювальні пристрої спеціального призначення можуть бути підключені для здійснення цих способів або можуть включати цифрові електронні пристрої, такі як одна або декілька специфічних інтегральних схем (ASIC) або польові програмовані масиви затворів (FPGA), які постійно програмуються для виконання способів, або може включати один або декілька апаратних процесорів загального призначення, запрограмованих на виконання способів відповідно до інструкцій програми в мікропрограмі, пам'яті, іншому сховищі або їх комбінації. Такі обчислювальні пристрої спеціального призначення можуть також поєднувати власну апаратно-реалізовану логіку, ASIC, або FPGA із користувацьким програмуванням для досягнення даних способів. Обчислювальні пристрої спеціального призначення можуть представляти собою настільні комп'ютерні системи, портативні комп'ютерні системи, мобільні пристрої, мережеві пристрої або будь-який інший пристрій, який включає в себе апаратно-реалізовану та/або програмну логіку для реалізації способів.

Наприклад, ФІГУРА 4 представляє собою блок-схему, яка ілюструє комп'ютерну систему 400, на якій може бути реалізований варіант здійснення винаходу. Комп'ютерна система 400 включає шину 402 або інший механізм зв'язку для передачі інформації та апаратний процесор 404, з'єднаний з шиною 402 для обробки інформації. Апаратний процесор 404 може являти собою, наприклад, мікропроцесор загального призначення.

Комп'ютерна система 400 також включає основну пам'ять 406, таку як оперативна пам'ять (RAM) або інший динамічний пристрій зберігання, з'єднаний із шиною 402 для зберігання інформації та інструкцій, які виконуються процесором 404. Основна пам'ять 406 також може використовуватись для зберігання тимчасових змінних або іншої проміжної інформації під час виконання інструкцій, які виконуються процесором 404. Такі інструкції, коли зберігаються у неперехідному носії інформації, доступному для процесора 404, перетворюють комп'ютерну систему 400 на машину спеціального призначення, яка є призначеною для здійснення операцій, зазначених в інструкції.

Комп'ютерна система 400 додатково включає пам'ять тільки для читання (ROM) 408 або інший статичний запам'ятовуючий пристрій, з'єднаний із шиною 402 для зберігання статичної інформації та інструкції для процесора 404. Запам'ятовуючий пристрій 410, такий як магнітний диск, оптичний диск або твердотільний носій для зберігання інформації та інструкції забезпечується приводом та приєднується до шини 402.

Комп'ютерна система 400 може бути з'єднана через шину 402 з дисплеєм 412, таким як електронно-променева трубка (CRT), для відображення інформації на комп'ютері користувача. Пристрій введення 414, включаючи літерно-цифрові та інші клавіші, є з'єднаним із шиною 402 для передачі інформації та вибору команд процесору 404. Інший тип пристрою користувача для введення даних являє собою керування курсором 416, таким як миша, трекбол або клавіші курсору для передачі інформації про напрямок та вибору команд процесору 404, та для керування рухом курсора на дисплеї 412. Даний вхідний пристрій зазвичай має два ступені свободи за двома осями, перша вісь (наприклад, x) та друга вісь (наприклад, y), що дозволяє пристрою визначати положення в площині.

Комп'ютерна система 400 може реалізовувати способи, описані в даному документі, з використанням індивідуалізованої апаратно-реалізованої логіки, однієї або декількох ASIC або FPGA, мікропрограми та/або програмної логіки, яка в комбінації з комп'ютерною системою дає команду або програмує комп'ютерну систему 400, як машину спеціального призначення. Відповідно до одного варіанта здійснення, способи, описані в даному документі виконуються комп'ютерною системою 400 у відповідь на процесор 404, який виконує одну або декілька послідовностей однієї або декількох інструкцій, які містяться в основній пам'яті 406. Такі інструкції можуть бути зчитані в основну пам'ять 406 з іншого носія для зберігання інформації, такого як запам'ятовуючий пристрій 410. Виконання послідовностей інструкцій, які містяться в основній пам'яті 406, дає команду процесору 404 щодо здійснення етапів процесу, описаних в даному документі. В альтернативних варіантах здійснення, апаратно-реалізовані схеми можуть використовуватись замість або в комбінації з інструкціями програмного забезпечення.

Термін "носії для зберігання інформації", як використовується в даному документі, відноситься до будь-якого неперехідного носія, який зберігає дані та/або інструкції, що дають команду машині працювати певним чином. Такі носії для зберігання інформації можуть містити енергонезалежні носії та/або енергозалежні носії. Енергонезалежні носії включають, наприклад, оптичні диски, магнітні диски або твердотільні накопичувачі, такі як запам'ятовуючий пристрій 410. Енергозалежний носій включає динамічну пам'ять, таку як основна пам'ять 406. Поширені форми носіїв для зберігання інформації включають, наприклад, дискету, гнучкий диск, жорсткий диск, твердотільний накопичувач, магнітну стрічку або будь-який інший магнітний носій даних, CD-ROM, будь-який інший оптичний носій даних, будь-який фізичний носій з малюнками отворів, RAM, PROM, та EPROM, FLASH-EPROM, NVRAM, будь-який інший чіп пам'яті або картридж.

Носії для зберігання інформації відрізняються від, але може використовуватися разом із носіями передачі. Носій передачі бере участь у передачі інформації між носіями для зберігання інформації. Наприклад, носій передачі включає коаксіальні кабелі, мідний дріт та волоконну оптику, включаючи дроти, які містять шину 402. Носії передачі можуть також мати форму акустичних або світлових хвиль, таких як ті, які генеруються під час передачі радіохвиль та інфрачервоних даних.

Різні форми носіїв можуть брати участь у перенесенні однієї або декількох послідовностей однієї або декількох інструкцій до процесора 404 для виконання. Наприклад, інструкції спочатку можуть знаходитись на магнітному диску або твердотільному накопичувачі віддаленого комп'ютера. Віддалений комп'ютер може завантажувати інструкції в свою динамічну пам'ять та надсилати інструкції телефонною лінією за допомогою модему. Модем, локальний до комп'ютерної системи 400, може приймати дані по телефонній лінії та використовувати інфрачервоний передавач для перетворення даних в інфрачервоний сигнал. Інфрачервоний детектор може приймати дані, передані в інфрачервоному сигналі, та відповідна схема може розміщувати дані на шині 402. Шина 402 передає дані в основну пам'ять 406, з якої процесор 404 отримує та виконує інструкції. Інструкції, отримані основною пам'яттю 406 необов'язково можуть зберігатися на запам'ятовуючому пристрої 410 або перед або після виконання процесором 404.

Комп'ютерна система 400 також включає інтерфейс передачі даних 418, з'єднаний із шиною 402. Інтерфейс передачі даних 418 забезпечує двосторонній зв'язок передачі даних до мережевої лінії 420, яка є підключеною до локальної мережі 422. Наприклад, інтерфейс передачі даних 418 може представляти собою інтегровану послугу карти цифрової мережі (ISDN), кабельний модем, супутниковий модем або модем для забезпечення з'єднання для передачі даних до відповідного типу телефонної лінії. Як інший приклад, інтерфейс передачі даних 418 може представляти собою карту локальної мережі (LAN) для забезпечення з'єднання для передачі даних до сумісної LAN. Також можуть бути реалізовані бездротові зв'язки. В будь-якій такій реалізації, інтерфейс передачі даних 418 надсилає та отримує електричні, електромагнітні або оптичні сигнали, які несуть цифрові потоки даних, які представляють різні типи інформації.

Мережева лінія 420, як правило, забезпечує передачу даних через одну або декілька мереж на інші пристрої передачі даних. Наприклад, мережева лінія 420 може забезпечувати з'єднання через локальну мережу 422 з головним комп'ютером 424 або обладнанням даних, що експлуатується постачальником послуг Інтернету (ISP) 426. ISP 426, своєю чергою, надає послуги передачі даних через всесвітню мережу зв'язку пакетних даних, яка в даний час зазвичай називається "Інтернет" 428. Локальна мережа 422 та Інтернет 428 обидва використовують електричні, електромагнітні або оптичні сигнали, які несуть цифрові потоки даних. Сигнали через різні мережі та сигнали мережевою лінією 420 та через інтерфейс зв'язку 418, які несуть цифрові дані до та від комп'ютерної системи 400, являють собою приклади форм середовищ передачі.

Комп'ютерна система 400 може надсилати повідомлення та отримувати дані, включаючи програмний код, через мережу/мережі, мережеву лінію 420 та інтерфейс зв'язку 418. В прикладі Інтернету сервер 430 може передавати код запиту для прикладної програми через Інтернет 428, ISP 426, локальну мережу 422 та комунікаційний інтерфейс 418.

Отриманий код може виконуватися процесором 404 у міру його отримання та/або зберігатися в пристрої зберігання 410 або іншому енергонезалежному сховищі для подальшого виконання.

### 3. ІЛЮСТРАТИВНИЙ СПОСІБ ГЕНЕРУВАННЯ ДАНИХ ЩОДО ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ

В одному варіанті здійснення, представленим є керований непараметричними даними спосіб картографування властивостей ґрунту підполя для сільськогосподарських полів. Спосіб дозволяє визначення, або прогнозування, різних властивостей ґрунту підполя. Властивості можуть включати рівні SOM, які вимірюються як фракція ґрунту (%), рівні CEC, які вимірюються в смоль/кг, та вимірювання інших властивостей, таких як рівні pH, K, P, Mg, Ca та інші.

Інформація про ґрунт може бути визначена, ґрунтуючись на даних оптичних супутникових зображень, даних топографічного шару ґрунту, та даних про погодні умови. Аерокосмічні дані спектральної характеристики із супутника, вимірювання відібраних зразків ґрунту, топографічні дані та дані метеорологічних характеристик можуть оброблятися з використанням однієї або декількох непараметричних моделей машинного навчання для генерування прогнозів властивостей SOM, CEC, pH, K, P, Mg, та Ca ґрунту підполя.

В одному варіанті здійснення, прогнози властивостей ґрунту підполя можуть використовуватись для генерування карт для сільськогосподарських полів. Карти можуть використовуватись, наприклад, для визначення зон управління полями, та визначення норм висівання та гібридів для полів. Крім того, карти можуть використовуватись для генерування сценаріїв змінних норм азоту для полів, сценаріїв розміщення насіння для полів, сценаріїв захисту сільськогосподарських культур зі змінною нормою для полів, сценаріїв відбору зразків ґрунту, та управління зрошуванням та діагностику інструкцій щодо врожайності для полів.

ФІГУРА 7 зображує ілюстративний спосіб генерування даних щодо властивостей ґрунту з використанням підходу машинного навчання. В одному варіанті здійснення, спосіб 700 для генерування даних щодо властивості ґрунту з використанням підходу ML включає надання граничних даних, отримання даних для поля, попередню обробку даних, виконання моделей ML, та генерування вихідних даних, які містять дані щодо властивості ґрунту підполя для поля.

#### 3.1. НАДАННЯ ГРАНИЧНИХ ДАНИХ

В одному варіанті здійснення, спосіб 700 включає надання (702) вхідних даних для зазначення, наприклад,

межі сільськогосподарського поля або полів, для яких шукаються дані щодо властивості ґрунту підполя. Вхідні дані можуть включати, наприклад, специфікацію граничних даних 702A для поля. Граничні дані 702A можуть бути задані шляхом надання значень координат довготи та широти для кожної кінцевої точки кожного краю межі поля. Інші способи надання граничних даних 702A також можуть бути реалізовані.

### 3.2. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ДЛЯ ПОЛЯ

В одному варіанті здійснення, спосіб 700 включає отримання (704) даних для поля, для якого були надані граничні дані 702A, та для якого шукаються дані щодо властивості ґрунту підполя. Дані можуть включати супутникові дані 704A, температуру та дані щодо опадів 704B, дані про місцевість 704C, та будь-які інші дані, які можуть бути корисними для генерування даних щодо властивості ґрунту для поля.

Дані 704A-D можуть запитуватися з використанням різних підходів. В одному підході дані можуть запитуватися шляхом надання граничних даних 702A, які визначають межу поля для одного або декількох супутникових серверів, національних баз даних, та/або сховища даних досліджень.

Супутникові дані 704A для сільськогосподарських полів можуть бути отримані із супутників, таких як Landsat 8, Sentinel-2 A та B. Отримані дані можуть включати мультиспектральні дані, які відображають польові зображення.

Дані щодо опадів 704B для сільськогосподарських полів можуть бути отримані з різних національних сховищ даних кліматології, дослідницьких центрів, сільськогосподарських лабораторій тощо.

Дані про місцевість 704C для сільськогосподарських полів можуть бути отримані з різних національних сховищ геологічних даних, дослідницьких центрів, сільськогосподарських лабораторій тощо.

Інші дані 704D можуть включати наземні вимірювання. Необов'язково, або на додаток до цього, дані можуть включати дані зображень, такі як цифрові зображення, зібрані на землі за допомогою пристроїв для зйомки зображень, таких як цифрові камери, датчики тощо.

#### 3.2.1. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ІЗ СУПУТНИКА

Супутникові дані 704A для сільськогосподарських полів можуть бути отримані із супутників. Супутникові дані можуть включати погодні та кліматичні дані для кожного поля, для яких шукаються картографування властивостей ґрунту. Приклади супутників, які можуть бути сконфігуровані для надання таких даних, включають Landsat 8, Sentinel-2A та Sentinel-2 B.

Мультиспектральний прилад Sentinel-2 (MSI) являє собою оптичний датчик, який отримує мультиспектральні дані із зображенням сільськогосподарських полів. Мультиспектральні дані можуть включати, наприклад, 13 спектральних смуг з видимого (VIS) спектру до короткохвильового інфрачервоного (SWIR) спектру. Дані можуть надаватися з просторовою роздільною здатністю, такою як 10 м, 20 м та 60 м, та 12-бітним квантуванням.

Датчик MSI може бути сконфігурований для забезпечення розширених спектральних можливостей для забезпечення додаткових та корисних смуг для сільськогосподарських полів та атмосферних умов для полів. Приклади додаткових смуг включають темно-синю смугу (443 нм) для захоплення та представлення прибережних районів та районів, покритих атмосферно-аерозольним розрядом. Розширені можливості можуть також включати виявлення хмарного типу цирруса, наприклад, в смузі 1375 нм, три смуги червоного краю для виявлення рослинності та присутності води та смуги SWIR для пошуку властивостей ґрунту.

Дані MSI можуть бути отримані за допомогою API-інтерфейсу python sentinelsat, сконфігурованого на здійснення пошуку, завантаження та пошук даних із Центру відкритого доступу Copernicus (Copernicus Open Access Hub). Центр відкритого доступу Copernicus (раніше відомий як Sentinels Scientific Data Hub) забезпечує повний, безкоштовний та відкритий доступ до продуктів користувачів Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 та Sentinel-5P, включаючи огляд введення в експлуатацію (IOCR) даних.

#### 3.2.2. ДОСТУП ДО СПІВ-ВАРІАТІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

На додаток до отримання спектральних даних та індексів, різні геопросторові набори даних, що мають відношення до формування ґрунту, можуть бути отримані та використовуватися в процесі генерування картографування властивостей ґрунту підполя. Набори геопросторових даних можуть використовуватися для створення набору спів-варіатів навколишнього середовища для прогнозного моделювання ґрунту. Спів-варіати навколишнього середовища можуть бути, наприклад, отримані з роздільною здатністю 10 м та/або деформовані для полегшення бікубичної передискретизації зразків в Бібліотеці абстракції геопросторових даних (Geospatial Data Abstraction Library) (GDAL).

GDAL являє собою бібліотеку комп'ютерного програмного забезпечення для зчитування та запису даних у форматах растрових та векторних геопросторових даних. GDAL випускається під дозволеною ліцензією на вільне програмне забезпечення в стилі X/MIT з відкритим кодом Geospatial Foundation (Open Source Geospatial Foundation).

В одному варіанті здійснення, спів-варіати навколишнього середовища включають спів-варіати на основі цифрової моделі висот (DEM) для даних висоти, градієнта нахилу, аспекту, кривизни, кривизни профілю, кривизни форми в плані. Дані можуть бути оцінені з використанням програми 3D Elevation (3DEP), яка може бути доступна на веб-сайті USGS.

Спів-варіати навколишнього середовища можуть також включати кліматичні спів-варіати, які представляють накопичені опадів та температуру в межах певного періоду часу, такого як декілька днів або тижнів. Періоди часу зазвичай включають період, за який були отримані відповідні супутникові дані для сільськогосподарського поля. А також включають багаторічну середньодобову температуру та кількість опадів. Ці дані можуть бути отримані з комерційно доступної або загальнодоступної служби, яка надає цифрові дані про погоду. Дані можуть бути викрешлені до роздільної здатності 10-м, що відповідає супутниковим даним, які базуються на Sentinel.

### 3.3. ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ДАНИХ

В одному варіанті здійснення, спосіб 700 включає попередню обробку (706) даних, зібраних для сільськогосподарського поля. Попередня обробка може включати видалення та/або виправлення точок даних в даних супутникових знімків, які представляють значення провалів та/або забруднені дані. Наприклад, попередня обробка може включати видалення тих точок даних, які відповідають ділянкам на полях, які випадково були затьмарені хмарами, снігом тощо, а також видалення тих точок даних, які відповідають ділянкам, які випадково являють собою ділянки, які не містять рослинності, такі як шосе, будівлі тощо. Отримані в результаті дані

називаються попередньо обробленими даними.

### 3.3.1. КОРЕКЦІЯ ДАНИХ НА ОСНОВІ АТМОСФЕРНИХ

В одному варіанті здійснення, попередня обробка даних 706 включає виконання, серед іншого, корекцію даних на основі атмосфери. Це може включати виявлення зображень хмар та класифікацію зображень на основі виявлення. Наприклад, цифрові зображення можуть бути оброблені для ідентифікації тих зображень, які включають пікселі, які зображують хмари, та класифікації цих зображень як таких, що мають досить обмежену корисність при визначенні властивості ґрунту.

На наступному етапі, можуть бути отримані дані, які вказують на товщину хмар та води, зображених на класифікованих зображеннях. Ці дані можуть бути отримані, наприклад, із сховища вмісту даних аерозольної оптичної товщини та водяної пари (WV).

Класифіковані зображення та дані про товщину хмари/води можуть використовуватись для генерування, наприклад, даних про відбиття поверхні. Це може бути виконано, використовуючи, наприклад, підхід MODIS/6S на основі Sen2Cor для створення карти відбиття поверхні дна атмосфери (BoA). Спосіб може також використовувати дані, доступні, наприклад, зі сховищ даних, які зберігають довідкові таблиці переносу енергії випромінювання. Вихідні дані можуть включати дані зображень структурованої мови керування класифікації зони (SCL). Дані зображення SCL можуть поєднуватися з показниками якості щодо інформації про хмарність та ймовірність снігу. Карти AOT та WV та зображення відбиття поверхні (або BoA) можуть надаватися з різною просторовою роздільною здатністю, такою як роздільна здатність 60 м, 20 м та 10 м.

### 3.3.2. КОРЕКЦІЯ ОГОЛЕНИЙ-ҐРУНТ-ПІКСЕЛЬ

Зображення SCL можуть оброблятися для виявлення зображень, які зображують голий ґрунт та відсутність хмар та снігу. Виявлені зображення використовуються для прогнозування властивостей ґрунту підполя.

В одному варіанті здійснення, зображення обробляються для того, щоб забезпечити зображення на безсніжних полях. Зображення також може бути оброблене для ідентифікації пікселів зображення, які зображують хмари та тіні. Виявлення хмари/тіні може виконуватися за допомогою інструментів виявлення цифрових об'єктів, таких як інструмент Rorcorn-III. Поля з пікселями, визначеними як відповідні зображення хмар та/або тіней, не використовуються при подальшій обробці. Пікселі снігу можуть бути ідентифіковані за допомогою, наприклад, програми Нормалізованого індексу різниці снігу (Normalised Difference Snow Index) (NDSI). Програма може аналізувати кожен піксель на зображенні та визначати ймовірність того, що піксель не відповідає зображенням снігу. Пікселі, для яких вірогідність менше, ніж, наприклад, 0,2, можуть бути видалені або ідентифіковані, та не використовуватимуться.

Оброблені SCL-зображення можуть бути розділені на декілька класів. Наприклад, зображення SCL можуть бути розділені на одинадцять класів, включаючи: клас 0: відсутні дані; клас 1: насичені пікселі; клас 2: темні ознаки / тіні; клас 3: тіні від хмар; клас 4: рослинність; клас 5: голі ґрунти; клас 6: вода; клас 7: низька ймовірність хмари; клас 8: середня ймовірність хмари; клас 9: висока ймовірність хмари; клас 10: перисті хмари; клас 11: сніг або лід. Зазвичай в представленому підході перевіряються та використовуються тільки ті зображення, або пікселі зображень, на яких є зображений оголений ґрунт. Інші пікселі та/або зображення можуть бути позначені як неприйнятні для використання.

### 3.3.3. НОРМАЛІЗАЦІЯ ТА ФІЛЬТРУВАННЯ ПОМИЛКОВО-ПОЗИТИВНИХ ДАНИХ

В одному варіанті здійснення, показник оголеного ґрунту (BSI) використовується для фільтрації зображень, для яких були визначені хибнопозитивні значення оголеного ґрунту. BSI являє собою числовий показник, який поєднує синій, червоний, ближній інфрачервоний та короткохвильовий інфрачервоні спектральні смуги для фіксації змін ґрунту. Спектральні смуги можуть використовуватись нормалізованим способом. Наприклад, короткохвильові інфрачервоні та червоні спектральні смуги можуть використовуватись для кількісної оцінки мінерального складу ґрунту, тоді як сині та ближні інфрачервоні спектральні смуги можуть використовуватись для посилення присутності рослинності. BSI може використовуватись в численних програмах дистанційного зондування, таких як картографування ґрунту, ідентифікація сільськогосподарської культури (в поєднанні з NDVI) тощо.

В одному варіанті здійснення, для обчислення BSI для зеленої спектральної смуги, може використовуватись наступна формула:

$$BSI = \frac{R_{\text{green}} - R_{\text{SWIR}}}{R_{\text{green}} + R_{\text{SWIR}}} \quad (1)$$

BSI може також виражатися як комбінація нормалізованого індексу рослинності (NDVI) та нормалізованого індексу нарощеного індексу (NDBI). В одному варіанті здійснення індекс BSI може використовуватись для картографування та моніторингу оголених ділянок ґрунту.

Хоча в рівнянні (1) використовується SWIR1, в інших варіантах здійснення може використовуватись SWIR2, оскільки він може працювати краще ніж мінімальний поріг NDVI з точки зору плутанини з тінями рослинності, тінями хмар та низькими хмарами, які звисають. Значення можуть знаходитись в діапазоні від -1 до 1, де більш високе значення вказує на більші зміни на оголеному ґрунті. Будь-який піксель із значенням BSI, меншим за 0,02, може бути виключений із процесу моделювання як такий, що потенційно не зображує оголений ґрунт.

В одному варіанті здійснення, нормалізований інший показаний індекс (NDSI) може бути обчислений з використанням наступного рівняння:

$$NDSI = \frac{(R_{\text{SWIR2}} + R_{\text{red}}) - (R_{\text{NIR}} + R_{\text{blue}})}{(R_{\text{SWIR2}} + R_{\text{red}}) + (R_{\text{NIR}} + R_{\text{blue}})}$$

Обидва рівняння (1) та (2) можуть використовуватись для виявлення пікселів на зображенні, які мало ймовірно зображують оголений ґрунт. Обидва рівняння можуть також використовуватись для усунення помилково позитивних спрацьовувань, що вказують на пікселі, які зображують, наприклад, сніг, та для ідентифікації пікселів, які зображують оголений ґрунт. Підхід, який використовує рівняння (1) та (2), часто є ефективним та дієвим для цілей моделювання.

Попередньо оброблені дані можуть використовуватись для вилучення (706B) спектральних характеристик з

даних. Це може включати генерування представлення даних у кубі даних. Представлення куба даних також зазначається в даному документі як куб даних. Куб даних може бути розділений на шари, наприклад, з роздільною здатністю 10-метрів шириною роздільною здатністю відповідно до роздільної здатності, яка відповідає, наприклад, смугам супутникових даних Sentinel.

Для даних в кожному кубі даних, обчислюється безліч відповідних індексів, та розраховується безліч топографічних та погодних спів-варіати.

В одному варіанті здійснення, значення пікселів витягуються з кожного куба даних для тих точок в кубі даних, для яких передбаченими є вимірювання SOM.

В одному варіанті здійснення, витягнуті спектральні характеристики поєднуються з даними щодо опадів та температури 704B, даними про місцевість 704C та, необов'язково, іншими даними 704D для того, щоб сформувати набір ознак 706C.

#### 3.3.4. ОБЧИСЛЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ

В одному варіанті здійснення, обчислюються значення для певних параметрів, які використовуються однією або декількома моделями ML. Значення можуть включати діапазон стандартних кольорів, значення залишків та спектральні показники на основі водопоглинання. Значення можуть бути обчислені, використовуючи, наприклад, смуги Sentinel 2, які є описаними вище, та які виявляються корисними в моделях ML, оскільки вони є гарними предикторами вмісту води та сухої маси в ґрунті.

ФІГУРА 8 зображує приклади вегетаційних індексів. На фігурі проілюстровано декілька прикладів індексів 802-808. Для кожного з індексів у графі 810 наводиться аббревіатура, та формула розрахунку наводиться у графі 812. Наведені індекси відносяться до кольору ґрунту, води, вмісту та залишків. Вони можуть включати модифіковане покриття залишків сільськогосподарських культур 802, що має аббревіатуру MCRC, нормалізований індекс різниці обробки 804, який має аббревіатуру NDTI, нормалізований індекс різниці вмісту води 806, який має аббревіатуру NDW7, та трансформований з урахуванням ґрунту індекс рослинності 808, який має аббревіатуру TSVI.

#### 3.4. ВИКОНАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Посилаючись знову на ФІГУРУ 7, в одному варіанті здійснення, спосіб 700 включає виконання (708) однієї або декількох моделей ML, сконфігурованих для генерування даних щодо властивостей ґрунту, ґрунтуючись на ознаках 706C, визначених на етапі 706.

Приклади моделей ML можуть включати модель випадкового лісу та моделі регресії на основі гаусовських процесів. Інші моделі ML також можуть бути реалізовані.

Кожна з моделей, наприклад, моделі 708A-708C, можуть розвиватися одна від однієї та можуть включати послідовні версії оригінальної моделі. Наприклад, модель 708A може являти собою першу версію моделі, виконану, ґрунтуючись на ознаках 706 C, модель 708B може являти собою другу версію моделі, тоді як модель 708N може являти собою n-ну версію моделі тощо.

##### 3.4.1. МОДЕЛЬНА ТОЧНІСТЬ ІЛЮСТРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ML

Багато різних моделей ML можуть використовуватись для визначення або прогнозування властивостей ґрунту підполя для поля. В одному варіанті здійснення, використовується модель регресії на основі гаусовських процесів. Модель регресії на основі гаусовських процесів, як правило, забезпечує ефективний спосіб для оцінки SOM для поля, та часто перевершує інші моделі, включаючи модель випадкового лісу. Модель Гауссової регресії ML часто працює аналогічно для навчальних наборів даних, а також для досліджуваних наборів даних. Крім того, модель Гауссової регресії ML надає ймовірнісні, інтерпретовані вихідні дані, а також вимірювання того, наскільки невизначеною є вихідна інформація.

Після завершення виконання однієї або декількох моделей ML 708A-N на даних ознак 706C, моделі генерують один або декілька вихідних результатів. В одному варіанті здійснення, вихідні дані включають одне або декілька картографувань 710A-C даних властивостей ґрунту підполя.

В одному варіанті здійснення, ґрунтуючись на картографуваннях 710A-710C, визначаються різні дані, які відображаються на пристроях відображення, та/або зберігаються в запам'ятовуючих пристроях. Наприклад, ґрунтуючись на властивостях ґрунту підполя, включених до картографувань 710A-710C, дані SOM 710D можуть бути отримані та передані, наприклад, системі розмежування польових зон.

##### 3.4.2. КАРТОГРАФУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ҐРУНТУ

В одному варіанті здійснення, регресію на основі гаусовських процесів модель виконується на характеристиках, специфічних для сільськогосподарського поля, для створення карти SOM. Карта SOM може надаватися з будь-якою обґрунтованою роздільною здатністю, включаючи роздільну здатність 10 м.

Як правило, просторову мінливість передбачуваної карти SOM з роздільною здатністю 10 м важко оцінити, оскільки доступні тільки основні дані істини для точок даних сітки, та дані просторово не розподіляються. Для вирішення цієї проблеми вимірювання SOM SmartFirmer можуть використовуватись для збільшення та перевірки карти SOM. Вимірювання SOM SmartFirmer, як відомо, забезпечують відносно гарну здатність картографування ґрунту, щоб дозволити якісно оцінити просторовий розподілення карт SOM. Реалізованими також можуть бути інші підходи.

##### 3.4.3. МАСШТАБУВАННЯ МОДЕЛІ SOM

В одному варіанті здійснення, карта SOM, згенерована з використанням моделі Гауссової регресії ML використовує дані дистанційного зондування Sentinel2. Представлений підхід дозволяє контролювати рівні SOM в масштабі з роздільною здатністю 10 м з високою точністю. Модель Гаусса ML забезпечує прийнятну просторову мінливість, та підхід, як було доведено, є ефективним рішенням, оскільки використовує значну кількість наявних вимірювань даних. Як правило, модель Гаусса ML дає гарні результати та уявлення про невизначеність моделі.

В одному варіанті здійснення, підхід забезпечує вдосконалені можливості, які включають автоматизовану обробку зображень, наприклад, супутникових знімків, та більш надійне навчання моделі ML, використовуючи, наприклад, набори даних за декілька років та безліч географічних розташувань. Покращені можливості можуть також включати включення даних про умови навколишнього середовища та надання наборів даних із додаткових джерел та сховищ даних. Приклади додаткових джерел даних можуть включати Національний центр обстеження ґрунтів (National Soil Survey Center) (NSSC), Лабораторія обстеження ґрунтів Kellogg (Kellogg Soil Survey Laboratory) (KSSL), та USDA-NRCS Rapid Carbon Assessment (RaCA), які надають дані SOM для різних

сільськогосподарських регіонів США.

В одному варіанті здійснення, підхід використовується для генерування не тільки карт SOM, але також карт інших властивостей ґрунту, таких як рівні рН, рівні P, рівні K, рівні Mg, рівні Ca, та інші.

#### 3.4.4. ІЛЮСТРАТИВНА БЛОК-СХЕМА

ФІГУРА 9 зображує ілюстративну блок-схему для генерування даних щодо властивостей ґрунту з використанням підходу машинного навчання. Спосіб, зображений на ФІГУРІ 9, може бути здійснений з використанням одного або декількох комп'ютерних пристроїв, обчислювальних систем, обчислювальних серверів або обчислювальних процесорів. Для простоти опису передбачається, що етапи, описані на ФІГУРІ 9 виконуються комп'ютерним процесом.

На етапі 902, комп'ютерний процес отримує граничні дані для сільськогосподарського поля. Граничні дані на даному етапі відповідають граничним даним 702A, описаним на ФІГУРІ 7. Граничні дані можуть вказувати фізичні межі поля та можуть включати значення координат довготи та широти для кожної кінцевої точки кожного відрізка межі поля. Інші способи надання граничних даних також можуть бути реалізовані.

На етапі 904, комп'ютерний процес отримує дані, специфічні для поля. Це може включати отримання (906) супутникових даних 704A (показано на ФІГУРІ 7), отримання (908) даних про кількість опадів та температуру 704B, отримання (910) даних про місцевість 704C, та будь-які інші дані, які можуть бути корисними для генерування даних щодо властивості ґрунту для поля.

На етапі 912, комп'ютерний процес попередньо обробляє отримані дані. Попередня обробка може включати виконання (914) корекції даних 706A (показано на ФІГУРІ 7) отриманих даних, специфічних для поля. Це може також включати вилучення (916) спектральних ознак 706B з коригованих даних та комбінування та/або нормалізацію (918) ознак 706C, вилучених з даних, отриманих для поля.

На етапі 920, комп'ютерний процес виконує одну або кілька моделей ML на комбінованих / нормалізованих ознаках для визначення властивостей ґрунту підполя. В одному варіанті здійснення, моделі ML використовуються для прогнозування різних властивостей ґрунту для поля. Моделі ML можуть включати непараметричні моделі ML. Приклади непараметричних моделей включають модель регресії на основі гаусовських процесів (GPR). Додаткові моделі, реалізовані у цьому підході, можуть включати модель випадкового лісу (RF) тощо.

Приклади моделей ML включають моделі 708A-708C, показані на ФІГУРІ 7. Моделі могли розвиватися одна від однієї та можуть включати послідовні версії оригінальної моделі.

Як тільки виконання однієї або декількох моделей ML на комбінованих / нормалізованих ознаках завершується, моделі генерують один або декілька вихідних результатів. В одному варіанті здійснення, вихідні результати включають один або декілька картографувань 710A-C (показано на ФІГУРІ 7) даних щодо властивостей ґрунту підполя.

Ґрунтуючись на картографуваннях, можуть бути визначені різні властивості ґрунту, відображені на дисплейних пристроях, та збережені в запам'ятовуючих пристроях. Наприклад, ґрунтуючись на властивостях ґрунту підполя, включених в картографуваннях, дані SOM можуть бути отримані та передані, наприклад, системі розмежування зони поля.

В одному варіанті здійснення, виконуються етапи 922-924. На етапі 922, комп'ютерна система визначає, чи був отриманий запит на одну або декілька карт даних SOM. Якщо запит було отримано, тоді комп'ютерний процес переходить до виконання етапу 924. В іншому випадку комп'ютерний процес переходить до виконання етапу 902.

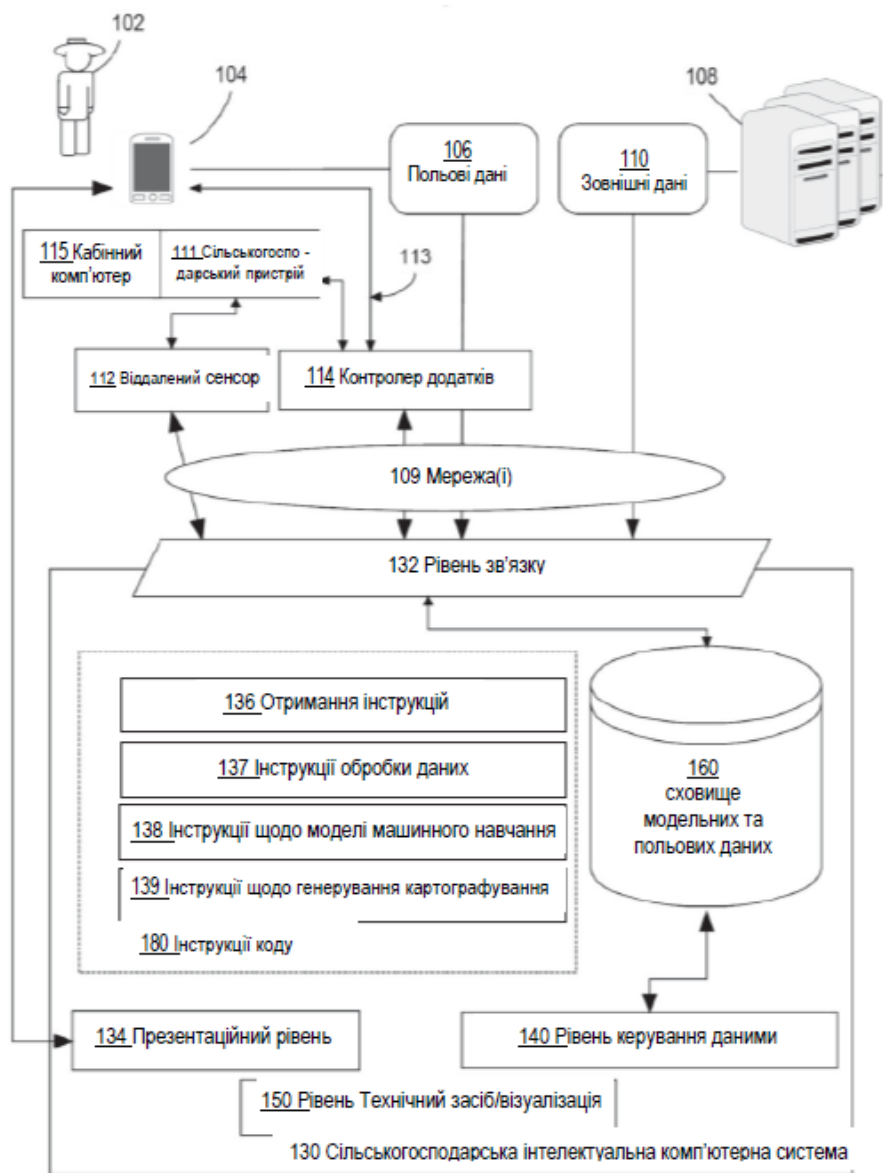
На етапі 924, комп'ютерний процес генерує, ґрунтуючись на властивостях ґрунту підполя для поля, одну або декілька карт SOM для поля. Карти SOM можуть бути сконфігурованими щоб графічно відображати рівні органічної речовини ґрунту на полі. Точність карт SOM може варіюватися та може залежати від реалізації. Наприклад, одна з карт SOM може надаватися з роздільною здатністю 10 м, тоді як інші карти можуть надаватися з більш високою або більш низькою роздільною здатністю.

В одному варіанті здійснення, комп'ютерний процес генерує не тільки карти SOM, але також карти інших властивостей ґрунту, таких як рівні СЕС, рівні рН, рівні P, рівні K, рівні Mg, та рівні Ca.

#### 4. УДОСКОНАЛЕННЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕНІ ДЕЯКИМИ ВАРІАНТАМИ ЗДІЙСНЕННЯ

В одному варіанті здійснення, представлений підхід використовує комбінацію різних зображень для ефективного визначення властивостей ґрунту підполя та за відносно короткий проміжок часу. Підхід використовує комбінацію оригінальних смугових зображень у спектральній області SWIR та набір відповідних індексів та особливостей навколишнього середовища (таких як кількість опадів та похідні висоти) для генерування прогнозів властивостей ґрунту підполя. Підхід вирішує труднощі із використанням зображення сигналів SOM з дистанційно отриманими спектрами, та, таким чином, в результаті призводить до неточного прогнозування SOM з використанням попередніх спроб.

В одному варіанті здійснення, представлений підхід включає навчання моделі ML для залежних від погоди ґрунтових умов з характеристиками, які ґрунтуються на багаторасових зображеннях, відповідно до тимчасової динамічної картини властивостей ґрунту. Це забезпечує надійний прогноз властивостей ґрунту підполя за різних умов вологості ґрунту. Цей підхід забезпечує рішення, які легко масштабувати в різних географічних регіонах та періоді часу, що викликає зацікавленість.



Фіг. 1

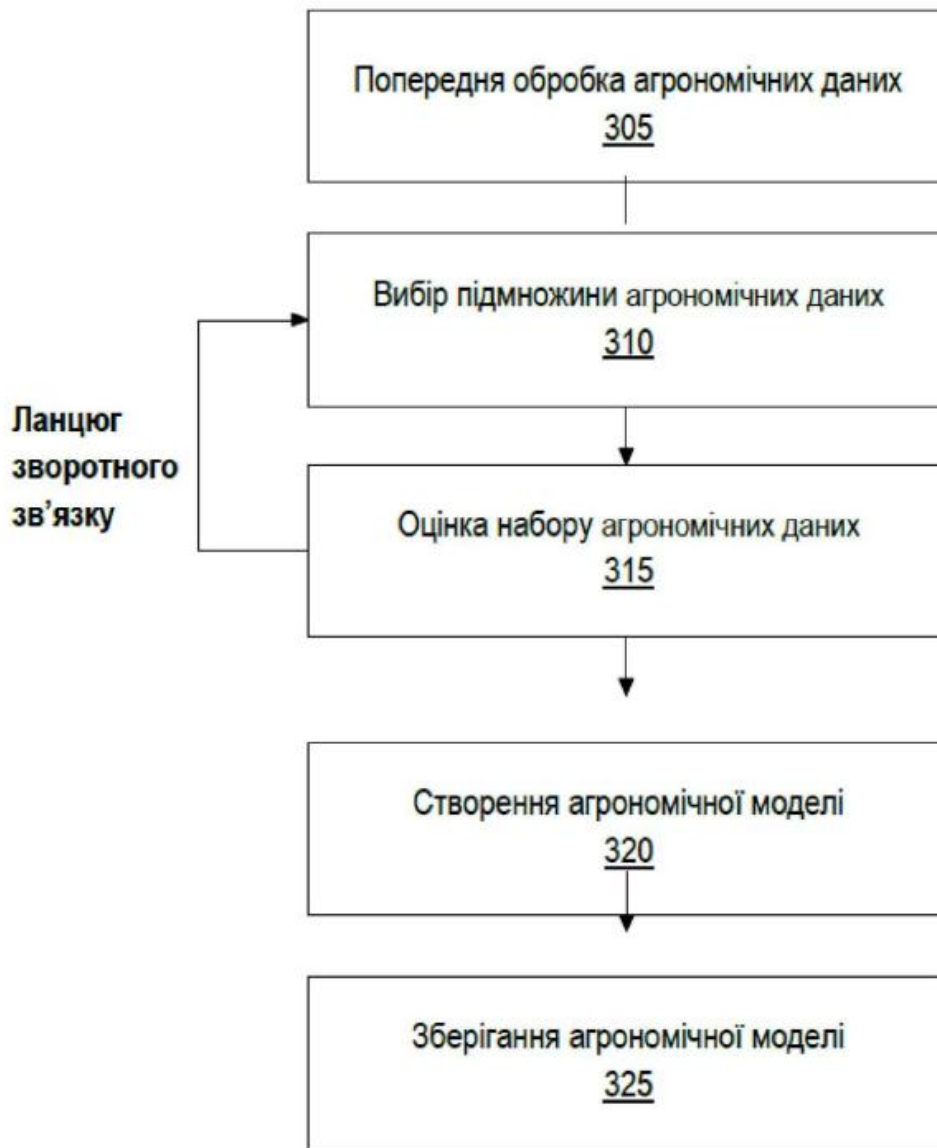
(a)



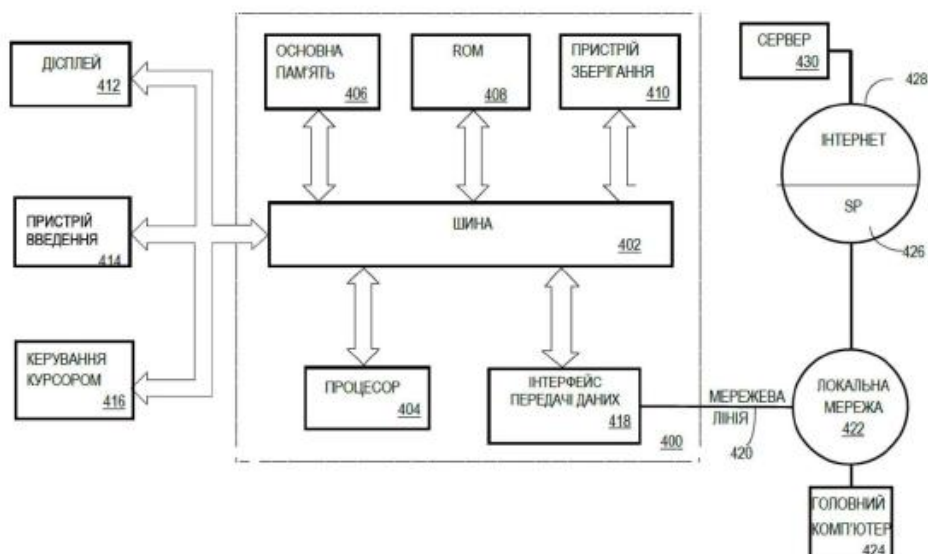
(b)



Фіг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Менеджер даних

Азот

Посів

Практика

Грунт

Осіннє застосування (2 поля)

Кількість: 150 фунтів N/акр

Застосов.: 1 x застосування

Редагув

Застосувати

Осінній пий (0 полів)

Кількість: 200 фунтів N/акр

Застосов.: 3 x застосування

Редагув

Застосувати

N програма 1 (0 полів)

Кількість: 150 фунтів N/акр

Застосов.: 2 x застосування

Редагув

Застосувати

Весняне застосування (4 поля)

Кількість: 150 фунтів N/акр

Застосов.: 2 x застосування

Редагув

Застосувати

Тест програма

Кількість: 250

Застосов.: 2 x

Редагув

Застосувати

Вибрати всі

Серп

Вер

Жов

Лис

Груд

Сн

Лют

Бер

Квіт

Трав

Чер

Лип

Серп

Вер

Еймс, IA 1

Ку-дза | 100 | Бун, IA

150

N

Р

103

Надмір

Остін, MN 1

Ку-дза | 100 | Фредрікс, MN

150

N

Р

111

Надмір

Бун, IN 1

Ку-дза | 100 | Бун, IA

130

N

Р

20

Надмір

Шампейн, IL 1

Ку-дза | 100 | Шампейн, IL

150

N

Р

80

N

Р

58

Надмір

Енебраска 1

Ку-дза | 100 | Берг, NE

100

N

Р

50

N

Р

107

Надмір

Fig. 5

Менеджер даних

Азот

Посів

Практика

Грунт

Посів 1(4 поля) C/г культура

Дата посіву кукурудзяного продукту: 2016-04-12

ILU 112 | Pop: 34000

Редагув

Застосувати

Посів 2(0 поля) C/г культура

Дата посіву кукурудзяного продукту: 2016-04-15

ILU 83 | Pop: 34000

Редагув

Застосувати

Посів 3(0 поля) C/г культура

Дата посіву кукурудзяного продукту: 2016-04-13

ILU 83 | Pop: 34000

Редагув

Застосувати

Посів 4(1 поля) C/г культура

Дата посіву кукурудзяного продукту: 2016-04-13

ILU 112 | Pop: 34000

Редагув

Застосувати

+

Додати новий план посіву

Вибрати всі

ВРОЖАЙ

ПОСІЯНІ АКРИ

ПРОДУКТ

ВІДН.СТИГЛІСТЬ

ЦІЛЬОВИЙ ВРОЖАЙ

ПОПУЛЯЦІЯ(AVG)

ПОС

Еймс, IA 1

Ку-дза | 100 | Бун, IA

Ку-дза

—

DMC82-M

112

160

34000

Квіт

Остін, MN 1

Ку-дза | 100 | Фредрікс, MN

Ку-дза

—

DMC82-M

114

160

36000

Квіт

Бун, IN 1

Ку-дза | 100 | Бун, IA

Ку-дза

—

DMC82-M

112

150

34000

Квіт

Шампейн, IL 1

Ку-дза | 100 | Шампейн, IL

Ку-дза

—

—

112

200

34000

Квіт

Енебраска 1

Ку-дза | 100 | Берг, NE

Ку-дза

—

—

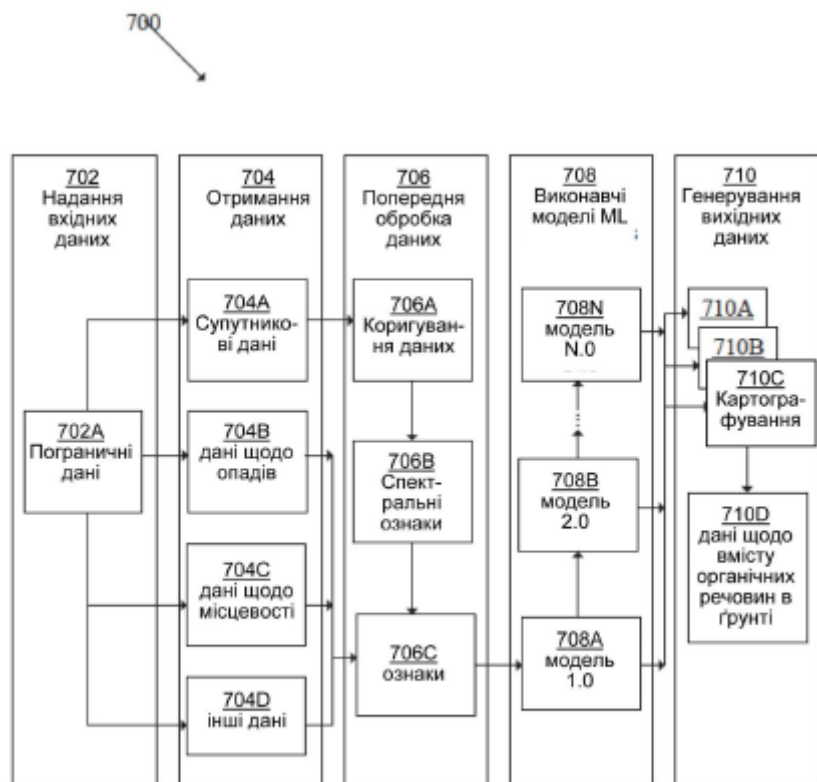
112

160

34000

Квіт

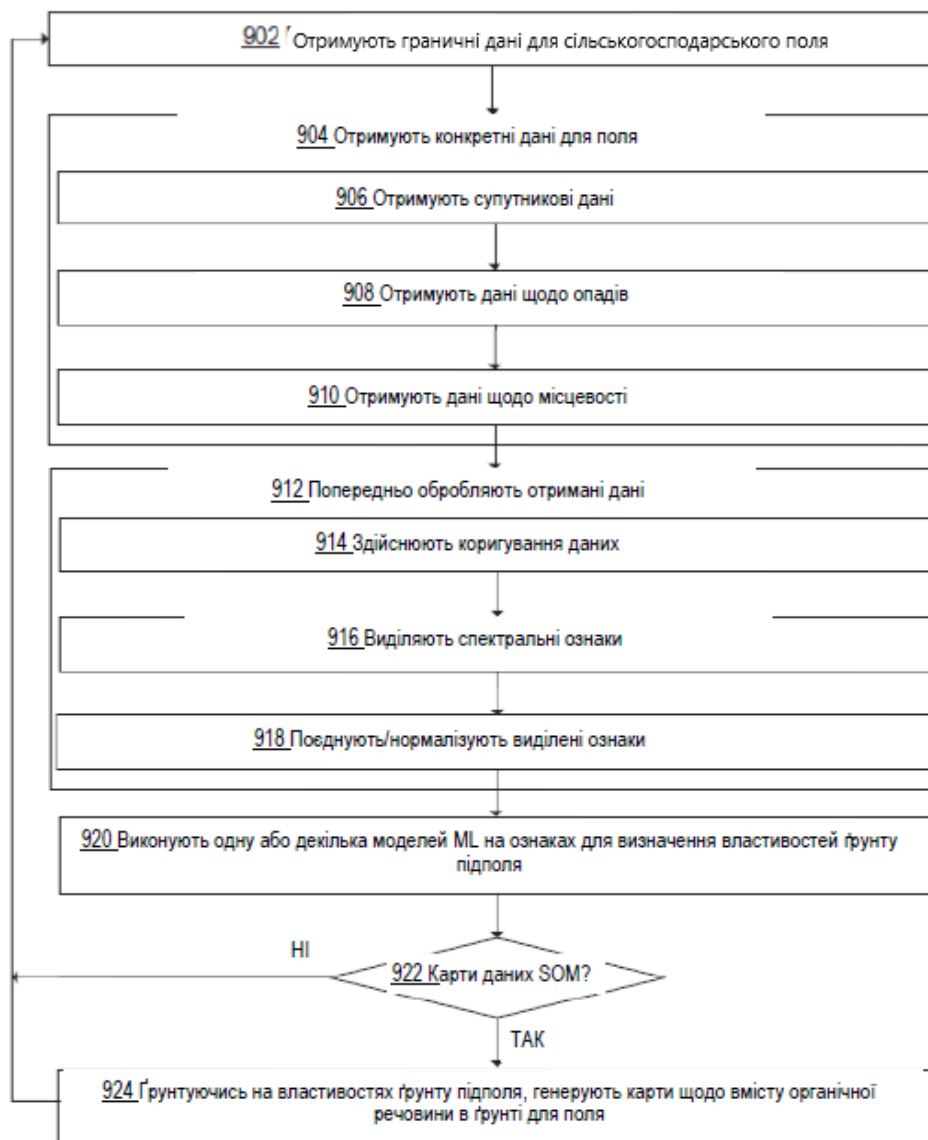
Fig. 6



Фіг. 7

| 802                                                      | Індекс                                                       | 810   | 812 | Формула                                                                     |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | модифіковане покриття залишків сільськогосподарських культур | MCRC  |     | $\frac{R_{SWIR1} - R_{green}}{R_{SWIR1} + R_{green}}$                       |
| 804                                                      | нормалізований індекс різниці обробки                        | NDTI  |     | $\frac{R_{SWIR1} - R_{SWIR2}}{R_{SWIR1} + R_{SWIR2}}$                       |
| 806                                                      | нормалізований індекс різниці вмісту води                    | NDW7  |     | $\frac{R_{NIR} - R_{SWIR2}}{R_{NIR} + R_{SWIR2}}$                           |
| 808                                                      | трансформований з урахуванням ґрунту індекс рослинності      | TSAVI |     | $\frac{a(R_{NIR} - aR_{Red})}{a \cdot R_{NIR} - R_{Red} - ab + X(1 + a^2)}$ |
| $a$ : нахил та $b$ : перехват лінії ґрунту<br>$X = 0.08$ |                                                              |       |     |                                                                             |

Фіг. 8



Фіг. 9