



**Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет мехатроніки та інжинірингу
Кафедра тракторів і автомобілів**

**АРХІТЕКТУРА ДАТЧИКІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

**Методичні вказівки
для самостійної підготовки та виконання практичної роботи з дисципліни
“Інтелектуальні системи мобільних енергетичних засобів”
для здобувачів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
спеціальності 208 Агроінженерія**

**Харків
2024**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет мехатроніки та інжинірингу
Кафедра тракторів і автомобілів

АРХІТЕКТУРА ДАТЧИКІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Методичні вказівки
для самостійної підготовки та виконання практичної роботи з дисципліни
“Інтелектуальні системи мобільних енергетичних засобів”
для здобувачів денної та заочної форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
спеціальності 208 Агроінженерія

Затверджено
рішенням навчально-методичної комісії
факультету мехатроніки та інжинірингу
Протокол № 4
від 21. 02. 2024 р.

Харків
2024

УДК 631.171
А - 87

Схвалено на засіданні кафедри
тракторів і автомобілів
Протокол № 7 від 18.01.2024 р.

Рецензенти:

Р.В. Антощенко, д.т.н, професор Державного біотехнологічного університету
О.Д. Деркач, к.т.н., доцент Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

А- 97 Архітектура датчиків для інтелектуальних мобільних енергетичних засобів: метод. вказівки для самостійної підготовки та виконання практ. роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заоч. форм навч. спец. 208 Агроінженерія; Держ. біотехнол. ун-т; уклад.: О.В. Блезнюк, О.В. Ковальов. – Харків: [б. в.], 2024.– 39 с.

Методичні вказівки включають практичну роботу та список літератури до неї. Матеріал розкриває сутність технічних засобів, їх властивості, особливості, умови, за яких можуть бути створені кращі умови використання. Майбутні фахівці повинні володіти основами методології розробки нових виробів і систем.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальності 208 Агроінженерія.

УДК 631.171

Відповідальний за випуск: І. О. Шевченко

© Блезнюк О.В., Ковальов О.В., 2024
© ДБТУ, 2024

Практична робота 1

Архітектура датчиків для інтелектуальних мобільних енергетичних засобів

Мета заняття - набути теоретичних знань та практичних навичок з обрахунку, використання, налаштування датчиків, пристроїв в інтелектуальних мобільних енергетичних засобах.

Завдання - розкрити сутність технічних засобів, їх властивості, особливості, умови, за яких можуть бути створені кращі умови використання мобільних енергетичних засобів, оволодіти основами методології розробки нових виробів і систем, сформулювати звіт за роботою.

Загальні положення

Мобільні енергетичні засоби, що були розроблені та випущені з конвеєру в перші три десятиліття 20 століття мають в собі чисто механічні властивості. З розвитком технологій сучасна сільськогосподарська техніка вже повністю оснащена електронним управлінням, це елементи управління та екрани є інтерфейсом оператора з електромеханічними компонентами, інтегрованими в сучасні енергетичні засоби.

Визначимося з терміном *мехатроніка*, що використовується для позначення систем, які поєднують в собі комп'ютерне управління, електричні компоненти та механічні частини. Концепція мехатроніки полягає в безшовній інтеграції цих трьох підсистем; її втілення в унікальну систему призводить до мехатронної системи. Коли мехатронна система наділена техніками штучним інтелектом, мехатронна система додатково класифікується як інтелектуальна система, яка є основою роботів та інтелектуальної сільськогосподарської техніки. Рішення мехатроніки - це не просто додавання датчиків та електроніки до вже існуючої машини; скоріше, це збалансована інтеграція всіх компонентів таким чином, що кожен окремий компонент підвищує продуктивність інших. Такий результат досягається тільки при розгляді всіх підсистем одночасно на самих ранніх стадіях проектування [1]. Таким чином, мехатроніка об'єднує технології, які лежать в основі датчиків, систем автоматичного управління, обчислювальних процесорів та передачі енергії через механізми, включаючи рідинні силові приводи.

Протягом 20 століття механізація сільського господарства значно зменшила трудомісткість процесів в сільському господарстві, одночасно підвищуючи *продуктивність* (більше земель, оброблених меншою кількістю людей), *ефективність* (менше часу та ресурсів, вкладених в однакову кількість землі) та *якість роботи* (зменшення втрат при збиранні врожаю, більш точні хімічні застосування, досягнення рівномірного обробітку ґрунту). Зелена революція на чолі з Норманом Борлаугом підвищила врожайність за рахунок посіву адаптованих до регіону сортів культур і використання ефективних добрив, що часто приводило до подвоєння врожайності, особливо в країнах, що розвиваються. З такими поліпшеннями, ініційованими "Зеленою революцією", поточна продуктивність, ефективність та якість продовольчих культур можуть бути достатніми для підтримки зростаючого населення світу, яке, за прогнозами, перевищить 9,5 мільярда до 2050 року, але фактична проблема

полягає в тому, щоб зробити це сталим способом за допомогою регенеративного сільського господарства [2]. Цей виклик ще більше ускладнюється триваючим скороченням робочої сили фермерських господарств у всьому світі.

Сучасна сільськогосподарська техніка, така як великі трактори, обприскувачі та зернозбиральні комбайни, на практиці можуть бути занадто габаритними, оскільки вони повинні пересуватися сільськими дорогами, використовувати потужні дизельні двигуни, які піддаються обмежувальним нормам до викидів, і можуть погіршити стан сільськогосподарських ґрунтів шляхом високого ступеню ущільнення колісною базою. Ці виклики та багато інших можуть бути подолані завдяки впровадженню мехатронних технологій та інтелектуальних систем на сучасній сільськогосподарській техніці. Механізоване землеробство впроваджує підвищений рівень автоматизації та інтелекту для покращення управління та підвищення продуктивності в польових операціях. Наприклад, сьогодні фермери можуть використовувати сільськогосподарські транспортні засоби з автоматичним керуванням для багатьох різних польових операцій, включаючи обробку ґрунту, посадку, хімічне застосування та збирання врожаю. Інтелектуальна техніка для автоматизованого проріджування або точної прополки овочевих та інших культур нещодавно була представлена на ринку техніки.

В методичних вказівках представлені основні поняття мехатроніки та інтелектуальних систем, що використовуються в сучасній сільськогосподарській техніці, включаючи сільськогосподарських роботів. Зокрема, в методичних вказівках коротко представлено низку основних технологій, ключових компонентів та типових проблем, що виникають у сільськогосподарському виробництві. Представлений матеріал забезпечує базове введення в мехатроніку та інтелектуальні технології, доступні сьогодні для польових виробничих застосувань, і відчуття величезного потенціалу, який ці підходи мають для вдосконалення механізації сільського господарства.

Автоматичні системи управління

Машина на основі мехатроніки повинні мати системи управління для реалізації автоматизованих функцій, які виконують поставлені завдання. Мехатронні системи складаються з електромеханічного обладнання та керуючого програмного забезпечення, що кодує алгоритм або модель, що автоматизує операцію. Автоматична система управління отримує відповідну інформацію з навколишнього середовища для управління (або регулювання) поведінки пристрою, що виконує необхідні операції. Прикладом може слугувати контролер домашнього кондиціонера (АС), який використовує термостат для визначення відхилення кімнатної температури від заданого значення та включення та виключення змінного струму для підтримки будинку при заданій температурі. Прикладом в сільськогосподарській техніці є авторульове управління. Припустімо, що невеликий трактор був змінений для автоматичного керування між рядами виноградної лози у винограднику. Він може використовувати камеру, що дивиться вперед, щоб виявити положення виноградних рядів, таким чином, що відхилення трактора від центральної лінії

між рядами винограду пов'язані з правильним кутом повороту для направлення трактора у винограднику, не потрапляючи в виноградну лозу. З цих двох прикладів видно, що система управління, як правило, складається з датчиків для отримання інформації, контролера для прийняття рішень та виконавчого механізму для виконання дій, що автоматизують операцію.

Приведення в дію, яке спирається на безперервному відстеженні змінної під контролем (наприклад, температури або кута колеса), називається керуванням із замкнутим контуром і забезпечує стабільну роботу для автоматизації. Керування із замкнутим контуром дозволяє оцінювати похибку в режимі реального часу (яка визначається як різниця між бажаним виходом контрольованої змінної та фактичним значенням, виміряним датчиком зворотного зв'язку), і обчислює команду виправлення з функцією управління - контролером - для зменшення похибки. Ця команда надсилається виконавчому механізму (розглянуто далі) для автоматичної реалізації виправлення. Ця функція контролера може бути простою часткою похибки (пропорційний контролер, P), мірою чутливості зміни (похідний контролер, D), функцією, залежною від накопичених (минулих) помилок (інтегральний контролер, I), або комбінація двох або трьох згаданих вище функцій (PD, PI, PID). Існують альтернативні методи впровадження автоматизованого управління, такі як інтелектуальні системи, які використовують методи штучного інтелекту (ШІ), такі як нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми та машинне навчання, щоб допомогти приймати більш подібні до людини управлінські рішення.

Приводи

Електромеханічний компонент - це інтегрована деталь, яка отримує електричний сигнал для створення фізичного руху для приводу механічного пристрою, що виконує певну дію. Приклади електромеханічних компонентів включають електродвигуни, які перетворюють вхідний електричний струм у обертання вала, та клапани широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), такі як форсунки зі змінною швидкістю та пропорційні електромагнітні драйвери, які отримують електричний сигнал для натискання золотника гідравлічного регулювального клапана для регулювання відкриття клапана, який контролює кількість рідини, що проходить через нього. Оскільки системи гідравлічних інструментів широко використовуються в сільськогосподарській техніці, часто можна побачити набагато більше електрогідравлічних компонентів (таких як пропорційні електромагнітні драйвери та сервоприводи), ніж електричні двигуни на сільськогосподарських машинах. Однак, оскільки роботизовані рішення стають все більш доступними в сільському господарстві, застосування електродвигунів на сучасній сільськогосподарській техніці, ймовірно, зросте, особливо на інтелектуальних та роботизованих версіях. Використання мехатронних компонентів закладає основу для впровадження технологій автоматизації сільськогосподарської техніки, включаючи перетворення традиційних машин в роботизовані, здатні виконувати польові роботи автономно.

Інтелектуальні сільськогосподарські машини та сільськогосподарські роботи

Для того, щоб інтелектуальна сільськогосподарська техніка могла виконувати автоматизовані польові операції, потрібно, щоб машини мали здатність: 1 - усвідомлювати фактичні умови експлуатації; 2 - визначати адаптивні поправки, придатні для постійно мінливих умов; і 3 - реалізувати такі коригування під час польових операцій, з підтримкою належної механічної системи. Ядро для досягнення такої можливості часто спирається на моделі, що керують інтелектуальною технікою, починаючи від простих логічних правил, що контролюють основні завдання аж до складних алгоритмів (AI) для виконання складних операцій. Ці алгоритми високого рівня можуть бути розроблені з використанням популярних методів, таких як штучні нейронні мережі, нечітка логіка, імовірнісні міркування та генетичні алгоритми [4]. Оскільки значна кількість з цих інтелектуальних машин можуть виконувати деякі польові завдання автономно, як це може зробити працівник, таку техніку також можна назвати роботизованою технікою. Наприклад, коли автономна газонокосарка (рис. 1, а) бродить у внутрішньому дворі, вона, як правило, наділена базовими навичками навігації та планування шляхів, завдяки яким косарка добре вписується в категорію роботизованої техніки, а отже, розумно вважати її польовим роботом. Хоча ці роботизовані машини в даний час не замінюють людських працівників у польових операціях, впровадження робототехніки в сільське господарство та їх широке використання є лише питанням часу. На (рис. 1.1, б) показаний автономний трансплантатор рису (його також називають роботом для пересадки рису), розроблений Національною організацією досліджень сільського господарства та харчових продуктів (NARO) Японії.



а)



б)

Рис. 1.1: а) Автономна косарка (John Deere); б) автономний трансплантатор рису на основі GPS (NARO, Японія)

Багато фінансових видань прогнозують, що в найближчі два десятиліття буде стрімке зростання ринку сервісних роботів, а ті, що знаходяться в сільськогосподарських додатках, відіграють значну роль. На (рис. 1.2) показано очікуване зростання американського ринку сільськогосподарських роботів за видами продукції. Хоча роботи для доїння та управління молочними

продуктами домінували на ринку сільськогосподарських робіт протягом останнього десятиліття, очікується, що роботи з виробництва рослинництва збільшать свою присутність комерційно та лідирують на ринку в найближчі роки, особливо для виробництва спеціальних культур (наприклад, плоди дерев, виноград, дині, горіхи, овочі). Ця трансформація фермера 21 століття від робітника до менеджера цифрового віку може сприяти залученню молодих поколінь до кар'єри в сільськогосподарському виробництві.

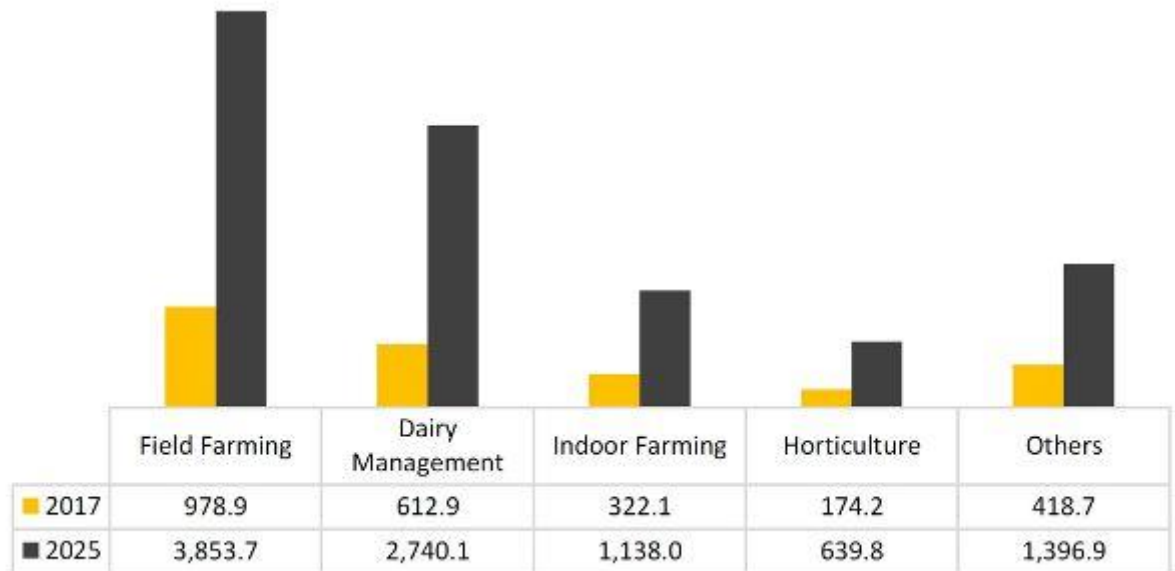


Рис. 1.2 - Очікуване зростання ринку сільськогосподарських робіт у США на 2016-2025 рр., суми складають мільйони доларів США [5]

Датчики в мехатронних системах

Датчики - це клас приладів, що вимірюють значні параметри за допомогою використання різноманітних фізичних явищ. Вони є важливими компонентами мехатронної системи, оскільки надають інформацію, необхідну для підтримки автоматизованих операцій. Хоча дані, що підлягають вимірюванню, можуть бути в різних формах, датчики виводять вимірювані дані або в аналогових, або цифрових форматах (описано далі). У сучасній сільськогосподарській техніці виходи датчиків з часом трансформуються в цифровий формат і таким чином можуть відображатися на РК-екрані або подаватися на комп'ютер. Цей зв'язок між датчиками та комп'ютерами прискорив розширення автоматизації машин. Інтелектуальна машина може допомогти працівникам у проведенні більш ефективних операцій: в деяких випадках це просто спричинить за собою отримання більш чіткої або кращої інформації; в інших випадках вона буде включати автоматизацію фізичних функцій. Практично у всіх ситуаціях внесок надійних датчиків потрібен для взаємодії машин з навколишнім середовищем. На (рис. 1.3.) показана архітектура інтелектуального трактора, до складу якого входять типові датчики бортової інтелектуальної сільськогосподарської техніки.

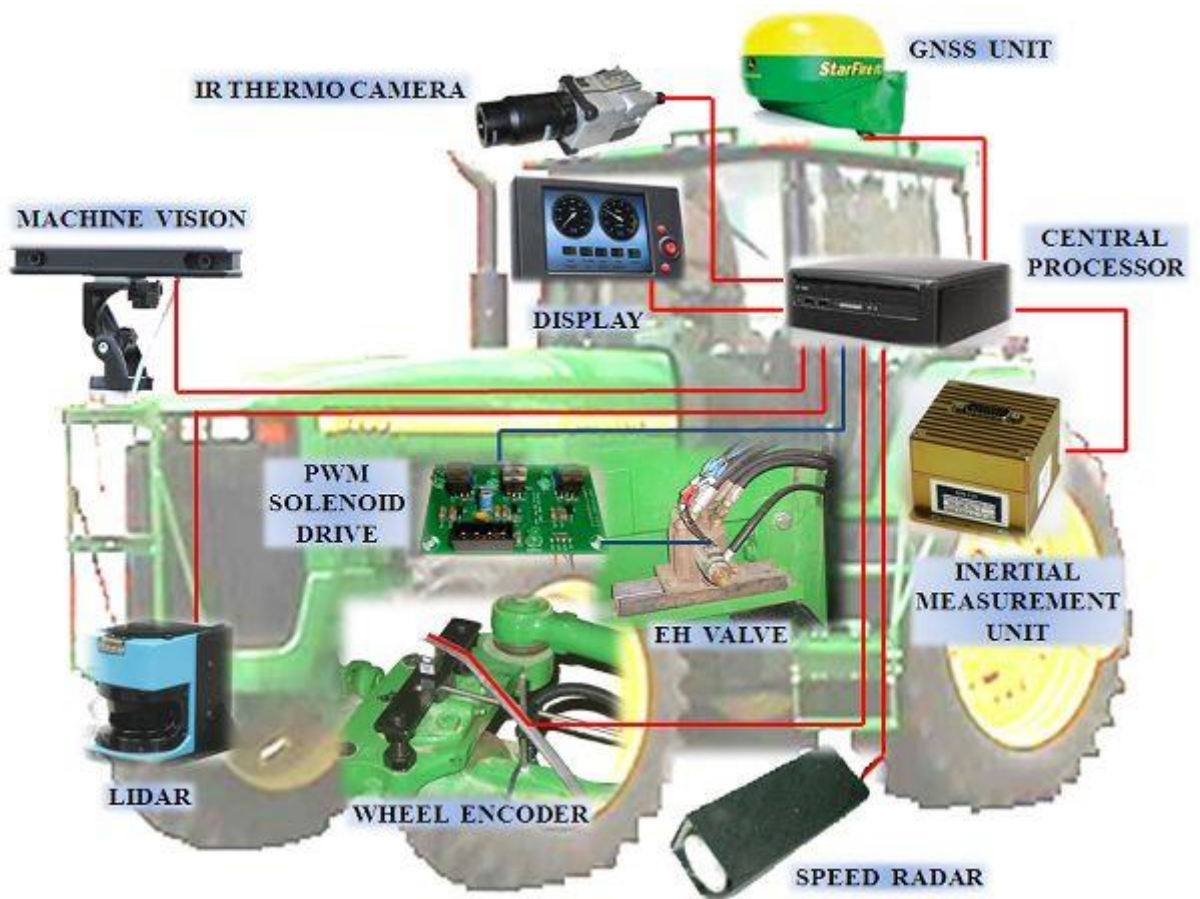


Рис. 1.3 - Архітектура датчиків для інтелектуальних сільськогосподарських транспортних засобів

Незважаючи на те, що датчики збирають дані, необхідні для виконання певної дії, цього може бути недостатньо, оскільки середовище сільськогосподарського виробництва часто ускладнюється багатьма факторами. Наприклад, змінюється освітленість протягом дня, несприятливі погодні умови можуть погіршити роботу датчиків, а відкриті поля мають відповідну невизначеність, коли в безпосередній близькості несподівано можуть з'явитися інші машини, тварини, інструменти і навіть робочі. Сприйняття даних може бути недостатнім для підтримки безпечної, надійної та ефективної автоматизованої роботи, і тому методи обробки даних необхідні для отримання більш вичерпної інформації, поки вона не стане достатньою для підтримки автоматизованих операцій. Як правило, немає сенсора, який надає всю необхідну інформацію, і немає сенсора, який ніколи не виходить з ладу. Залежно від конкретних потреб інженери часто використовують або резервування, або злиття датчиків для вирішення такої проблеми. Перший отримує ту ж інформацію через незалежні джерела в разі, якщо один з них виходить з ладу або зменшується його достовірність, а другий об'єднує інформацію декількох джерел, які є взаємодоповнювальними. Після того, як отримана інформація буде оброблена будь-яким методом, команда до дії може бути розрахована, а потім виконана для відповідного завдання.

Аналогові та цифрові дані

Як вже говорилося вище, мехатронні системи часто використовують датчики для отримання інформації для підтримки автоматизованих операцій. Датчики забезпечують вимірювання фізичних величин (наприклад, температури, швидкості, тиску, відстані та інтенсивності світла), представлених кількістю електричних змінних (таких як напруга та струм). Ці величини часто називають аналоговими даними і зазвичай виражаються в базі 10, десяткової системі нумерації. На відміну від цього, електронні пристрої, такі як контролери, представляють числа в базі 2 (двійкова система нумерації або просто «двійкова»), приймаючи функцію включення-виключення електроніки, з числовим значенням 1, присвоєним стану «увімкнено», а 0 - стану «вимкнено».

Двійкова система використовує ряд цифр, обмежених нулями або одиницями, для представлення будь-якого десяткового числа. Кожна з цих цифр являє собою частку двійкового числа; двійкова цифра називається бітом. Крайній лівий 1 в двійковому числі 1001 називається найбільш значущим бітом (MSB), а крайній правий 1 - найменш значущим бітом (LSB). В інформатиці поширена практика розбивати довгі двійкові числа на сегменти по 8 біт, відомі як байти. Існує відповідність один до одного між двійковими числами і десятковими числами. Наприклад, 4-бітове двійкове число може бути використано для представлення всіх натуральних десяткових чисел від 0 (представлені 0000) до 15 (представлені 1111). Оцифровка сигналу полягає у знаходженні цієї конкретної відповідності.

Процес перетворення двійкових чисел в десяткові числа і навпаки доволі простий для подання натуральних десяткових чисел. Однак негативні числа з плаваючою комою вимагають спеціальних прийомів. Хоча перетворення даних між двома форматами зазвичай відбувається автоматично, важливо знати основну концепцію для кращого розуміння того, як інформація може бути виправлена, оброблена, розподілена та використана в інтелектуальних системах машин. Роздільна здатність цифрових даних залежить від кількості бітів, таким чином, що більше бітів означає більшу точність при оцифрованому вимірюванні. Рівняння (1), це залежність між кількістю бітів (n) і отриманою кількістю цифрових рівнів, доступних для кодування сигналу (L). Наприклад, використання 4 біт призводить до $2^4 = 16$ рівнів, це має на увазі, що аналоговий сигнал між 0 В і 2 В матиме дозвіл $2/15 = 0,133$ В; в результаті величини нижче 133 мВ не будуть виявлені за допомогою 4-бітних чисел. Якщо необхідна більша точність, для оцифровки доведеться використовувати числа з більшою кількістю бітів. Зверніть увагу, що рівняння (1) є експоненціальним співвідношенням, а не лінійним, і квантування швидко зростає з кількістю бітів. Відповідно за попереднім прикладом, 4 біта дають 16 рівнів, але 8 біт дають 256 рівнів замість 32, що насправді відповідає 5 бітам.

$$L = 2^n \quad (1)$$

де L - кількість цифрових рівнів в процесі квантування,
 n - кількість бітів.

Позиція зондування

Однією з основних вимог до сільськогосподарських роботів та інтелектуальних машин для правильної, надійної та ефективної роботи є знання їх розташування стосовно навколишнього середовища. Таким чином, можливості позиціонування є важливими.

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS)

Глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) - це загальний термін, що описує будь-яке супутникове сузір'я, яке надає можливість позиціонування, навігації та синхронізації (PNT) на глобальній або регіональній основі. У той час як Глобальна система позиціонування США (GPS) є найбільш поширеною GNSS, інші країни формують або мають свої власні системи, щоб забезпечити додаткові, незалежні можливості PNT. Інші системи включають Galileo (Європа), ГЛОНАСС (Росія), BeiDou (Китай), IRNSS/Navic (Індія) та QZSS (Японія).

Коли Міністерство оборони США випустило технологію GPS для цивільного використання в 2000 році, це спричинило зростання супутникової навігації для позашляховиків, включаючи роботизовану сільськогосподарську техніку. В даний час більшість провідних виробників сільськогосподарської техніки включають навігаційні системи допомоги в числі своїх передових продуктів. Станом на 2019 рік повністю функціонував тільки GPS (США), але останнє покоління приймачів вже може розширити сузір'я GPS за допомогою інших супутників GNSS.

Приймачі GPS виводять дані через послідовний порт, відправляючи кількість байтів, закодованих в стандартному форматі, який отримав загальне визнання: NMEA 0183. Стандарт інтерфейсу NMEA 0183 був створений Національною асоціацією морської електроніки США (NMEA) і складається з повідомлень GPS у текстовому форматі (ASCII), які включають інформацію про час, положення в геодезичних координатах (тобто широта (λ), довгота (ϕ) та висота (h)), швидкість і точність сигналу. Світова геодезична система 1984 (WGS 84), розроблена Міністерством оборони США, визначає еліпсоїд обертання, який моделює форму землі, і на якому визначаються геодезичні координати. Крім того, WGS 84 визначає декартову систему координат, закріплену на землі та з її початком у центрі маси землі. Ця система є орієнтованою на землю системою координат (ECEF), і вона забезпечує альтернативний спосіб розташування точки на поверхні землі за допомогою звичайних трьох декартових координат X, Y та Z, де вісь Z збігається з віссю обертання землі і тому перетинає землю полюсів.

Більшість застосувань, розроблених для сільськогосподарської техніки, однак, не вимагають покриття великих поверхонь за короткий проміжок часу. Тому кривизна землі має незначний вплив, і більшість сільськогосподарських полів можна вважати рівними для практичних цілей. Локальна система координат дотичної площини (LTP), також відома як координати NED, часто використовується для полегшення таких дрібномасштабних операцій з інтуїтивно зрозумілими глобальними координатами північ (N), схід (E) та вниз (D). Ці координати визначаються вздовж трьох ортогональних осей у

декартовій конфігурації, що генерується шляхом прилягання дотичної площини до поверхні землі в довільній точці, обраній користувачем, і встановленої як початок LTP. Враховуючи, що стандартні приймачі забезпечують геодезичні координати (λ, ϕ, h) , але практичні польові операції вимагають локального кадру, такого як LTP, фундаментальною операцією для картографування додатків у сільському господарстві є перетворення в режимі реального часу між двома системами координат [3]. Рівняння 2 - 8 забезпечують покрокову процедуру досягнення цього перетворення.

$$\backslash [a = 6378137 \backslash$$

$$\backslash [e = 0.0818 \backslash$$

$$N_0(\lambda) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \lambda}} \quad (2)$$

$$X = (N_0 + h) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \phi \quad (3)$$

$$Y = (N_0 + h) \cdot \cos \lambda \cdot \sin \phi \quad (4)$$

$$Z = [h + N_0 \cdot (1 - e^2)] \cdot \sin \lambda \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} N \\ E \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \lambda \cdot \cos \phi & -\sin \lambda \cdot \sin \phi & \cos \lambda \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ -\cos \lambda \cdot \cos \phi & -\cos \lambda \cdot \sin \phi & -\sin \lambda \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

де a - напіввелика вісь WGS 84 еталонного еліпсоїда (м),

e - ексцентриситет еталонного еліпсоїда WGS 84,

N_0 - довжина нормалі (м).

Геодезичні координати:

λ - широта ($^\circ$),

ϕ - довгота ($^\circ$),

h - висота (м),

(X, Y, Z) - координати ECEF (м),

(X_0, Y_0, Z_0) - визначене користувачем походження координат у форматі ECEF (м),

(N, E, D) - LTP координати північ, схід, вниз (м).

Незважаючи на високу доступність інформації GPS, на супутникове позиціонування впливає безліч помилок, деякі з яких не можуть бути повністю усунені. На щастя, ряд важливих помилок можуть бути компенсовані за допомогою методики, відомої як диференціальна корекція, зниження похибок з більш ніж 10 м до приблизно 3 м Крім того, особливий випадок реального часу кінематичних (RTK) диференціальних поправок може ще більше знизити похибку до сантиметрового рівня.

Датчики сонара

Окрім розміщення машин у полі, ще однією важливою потребою в позиціонуванні сільськогосподарських машин є пошук положення навколишніх предметів під час сільськогосподарських операцій, таких як цільові рослини або потенційні перешкоди. Ультразвукові далекоміри - це чутливі пристрої, які успішно використовуються для цієї мети. Оскільки вони вимірюють відстань

цільових об'єктів з точки зору швидкості звуку, ці датчики також відомі як датчики сонарів.

Основний принцип гідролокаторів полягає в тому, що швидкість звуку відома (343 м с^{-1} при 20°C), а вимірювання часу, необхідного хвилі, щоб вдарити перешкоду і повернутися до датчика - відлуння - дозволяє оцінити відстань об'єкта. Швидкість звуку по повітрю, V , залежить від температури навколишнього середовища, T , як:

$$V(\text{m s}^{-1}) = 331.3 + 0.606 \times T(^{\circ}\text{C}) \quad (7)$$

Постійно мінлива температура навколишнього середовища на сільськогосподарських полях є однією з багатьох проблем для датчиків гідролокатора. Ще однією проблемою є різноманітність цільових об'єктів. На практиці датчики гідролокатора повинні посилати звукові хвилі, які потрапили в об'єкт, а потім повернутися до приймача датчика. Потім цей приймач повинен захопити сигнал, щоб виміряти час, за який хвилі обернулися, дійшли туди й назад. Розуміння обмежень, викликаних відбиваючими властивостями цільових об'єктів, має важливе значення для отримання достовірних результатів. Відстань до матеріалів, які поглинають звукові хвилі, такі як умовно кажучи "м'які" вироби, буде вимірюватися погано, тоді як тверді і щільні цілі дозволять системі добре працювати. Коли цільовий об'єкт нерівний, складної форми, вимірювання можуть стати шумними. Також звукові хвилі не поведуться як лінійні промені, а поширюються в нерегулярних конусах, які розширюються в охопленні з відстанню. Коли предмети знаходяться поза конусом, вони можуть виявитися непоміченими. Помилки часто змінюватимуться залежно від діапазонів, у результаті подальші діапазони призводять до більших помилок.

Важливою конструктивною особливістю, яку слід враховувати, є відстань між сусідніми ультразвуковими датчиками, оскільки ехо-перешкоди є ще одним джерелом нестабільної поведінки. Загалом, ехолоти корисні для економічно ефективно оцінки коротких відстаней, коли точність та надійність не є критичними, як при виявленні відстаней до крони дерев для автоматизованого розпилення пестицидів.

Датчики виявлення світла та дальності (Lidar)

Ще одним поширеним датчиком виявлення положення є лідар, який розшифровується як виявлення світла і дальність. Лідари - це оптичні прилади, які з точністю визначають відстань до цільових об'єктів. Хоча різні джерела світла можуть бути використані для оцінки діапазонів, більшість лідарних пристроїв використовують лазерні імпульси, оскільки їх щільність променя та узгодженість призводять до високої точності.

Загалом, точність - це міра різниці між конкретним показанням та середнім показанням всіх вимірюваних показань одного і того ж значення, а точність визначається як близькість вимірюваного значення до його фактичного значення.

Лідари мають специфічні особливості, які дозволяють їх використовувати для польових роботизованих систем, оскільки сонячне світло не впливає на лідари, якщо не потрапляє безпосередньо на їх випромінювач, і вони чудово працюють при поганій освітленості.

Машинний зір і датчики візуалізації

Одним з важливих елементів людського інтелекту є зір, який дає фермерам можливість зорового сприйняття. Основна вимога до інтелектуальної сільськогосподарської техніки або сільськогосподарських робіт полягає в тому, щоб мати здатність до обізнаності щодо навколишнього середовища. Машинний зір - це комп'ютерна версія зору фермера; камери функціонують як очі, а комп'ютери - як мозок. Вихідними даними систем зору є цифрові зображення. Цифрове зображення складається з маленьких квадратів, які називаються пікселями (елементами зображення), які несуть інформацію про рівень інтенсивності світла. Більшість цифрових камер, що використовуються на сільськогосподарських машинах, є ПЗС (пристрої, пов'язані з зарядом), які складаються з невеликого прямокутного датчика, виготовленого з сітки крихітних світлочутливих осередків, кожна з яких виробляє інформацію про відповідний піксель на зображенні. Якщо зображення чорно-біле (технічно називається монохромним), рівень інтенсивності представлений у сірій шкалі між мінімальним значенням (0) і максимальним значенням (i_{max}). Кількість рівнів в сірій шкалі залежить від кількості бітів, в яких кодується зображення. Більшість зображень, що використовуються в сільському господарстві, мають 8 біт, що означає, що зображення може розрізнити 256 рівнів сірого (2^8), де мінімальне значення дорівнює 0, що представляє повний чорний колір, а максимальне значення - 255, що представляє чистий білий. У практичному плані людські очі не можуть розрізнити стільки рівнів, а 8 бітів у багато разів більше, ніж достатньо. Коли цифрові зображення відтворюють сцену кольором, пікселі несуть інформацію про рівні інтенсивності для трьох каналів червоного (R), зеленого (G) та синього (B), що ведуть до зображень RGB. Обробка зображень RGB складніша, ніж монохромні зображення, і виходить за рамки даної роботи.

Монокулярні камери які мають один об'єктив, складають прості системи зору, але інформація, яку вони отримують, є достатньо потужною. При виборі камери інженери повинні вибрати важливі технічні параметри, такі як фокусна відстань об'єктива, розмір датчика та оптичні фільтри, коли є спектральні діапазони (кольори), які потрібно заблокувати від зображення. Фокусна відстань (f) пов'язана з областю сцени, яка вписується в зображення, і визначається в рівнянні (8). Геометрична залежність, описана (рис. 4) та рівнянням (9), визначає результуюче поле зору (FOV) будь-якої заданої сцени. Отже, конструкція системи машинного зору повинна включати правильні параметри камери та об'єктива, щоб гарантувати, що необхідний FOV покритий, а цільові об'єкти знаходяться у фокусі на зображеннях.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \quad (8)$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{A}{FOV} \quad (9)$$

де f - фокусна відстань об'єктива (мм),

d_1 - відстань між датчиком зображення і оптичним центром лінзи (мм),

d_2 - відстань між оптичним центром лінзи і цільовим об'єктом (мм),

A - горизонтальний розмір датчика зображення (мм),

FOV - горизонтальне поле зору, покрите зображеннями (мм),

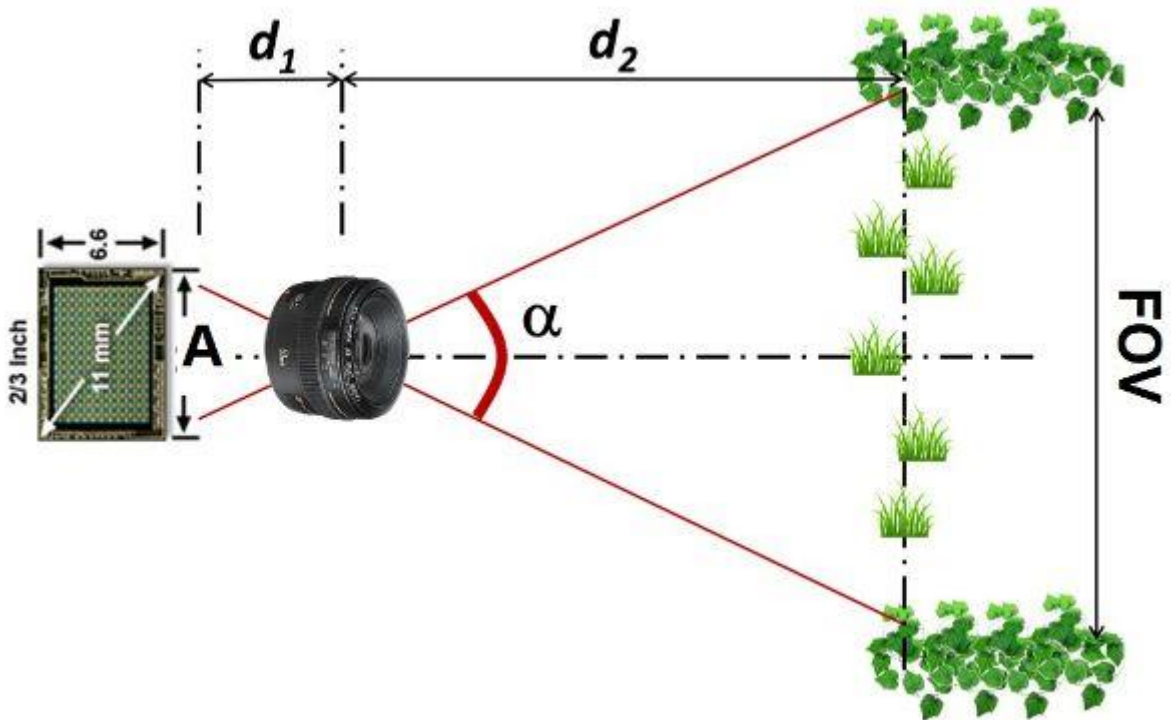


Рис. 1.4 - Геометричний зв'язок між датчиком зображення, лінзою та FOV; α - кутовий еквівалент горизонтального поля зору

Після зйомки перший крок процесу, отримання зображення завершено. Другий крок, аналіз зображень, починається з обробки зображень, яка передбачає делікатне завдання, вилучення корисної інформації з кожного зображення для його подальшого використання, (рис. 1.5) відтворює результати алгоритму сегментації на основі кольору для знаходження положення мандаринових апельсинів на цитрусовому дереві.

Незважаючи на те, що цифрові зображення відтворюють сцени з великою деталізацією, зображення є плоским, тобто у двох вимірах (2D). Однак реальні сцени знаходяться в трьох вимірах (3D), причому третім виміром є глибина або відстань між камерою та об'єктами, що саме і цікавить. Наприклад, на зображенні, показаному на (рис. 1.5), конкретний апельсин може бути розташований з точністю в горизонтальній та вертикальній осях, але наскільки далеко він знаходиться від датчика, неможливо дізнатися. Ця інформація була б важливою, наприклад, для програмування роботизованої руки для отримання апельсинів. Стереокамери які представляють собою камери принаймні з двома об'єктивами, що відповідають принципам стереоскопії, дозволяють отримати два або більше зображення в певному відносному положенні, до якого застосовуються принципи стереоскопічного зору. Ці принципи імітують, як працює людський зір, оскільки зображення, зняті людськими очима з сітківки, трохи зміщені, і це зміщення відоме як нерівність - це те, що дозволяє мозку оцінити глибину.



Рис. 1.5 - Кольорова сегментація мандаринових апельсинів

Оцінка динамічних станів транспортного засобу

Параметри, які допомагають зрозуміти динамічну поведінку транспортного засобу, відомі як стани транспортного засобу і, як правило, включають швидкість, прискорення, бічне ковзання та кутові швидкості рискання, крок та крену. Датчики, необхідні для таких вимірювань, зазвичай збираються в компактний датчик руху, який називається інерційною одиницею вимірювання (IMU), створений з комбінації акселерометрів і гіроскопів. Акселерометри IMU визначають прискорення як зміну швидкості транспортного засобу з плином часу. Після того, як прискорення відомо, його математична інтеграція дає оцінку швидкості, а інтеграція знову дає оцінку положення. Рівняння 10 дозволяє обчислювати миттєві швидкості з вимірювань прискорення IMU або будь-якого окремого акселерометра. Зверніть увагу, що для скінченних приростів часу Vt інтегральна функція замінюється підсумовуванням. Аналогічно, гіроскопи можуть виявляти кутові швидкості повороту транспортного засобу; інтеграція цих значень призводить до кутів кочення, кроку та рискання, як зазначено рівнянням 11. Типовий IMU складається з трьох акселерометрів і трьох гіроскопів, зібраних уздовж трьох перпендикулярних осей, які відтворюють декартову систему координат. За допомогою цієї фізичної конфігурації можна обчислити три складові прискорення та швидкості в декартових координатах, а також кути Ейлера крену, кроку та рискання. Поточні IMU на ринку невеликі та недорогі, що сприяє точній оцінці станів транспортних засобів за допомогою невеликих пристроїв, таких як мікроелектромеханічні системи (MEMS).

Кути Ейлера - це три кути, які забезпечують орієнтацію твердого тіла щодо декартової системи відліку, наведеної в трьох вимірах.

$$V_t = V_{t-1} + a_t \cdot \Delta t \quad (10)$$

$$\Theta_t = \Theta_{t-1} + \dot{\Theta} \cdot \Delta t \quad (11)$$

де V_t - швидкість руху транспортного засобу в момент t (м с⁻¹)

a_t - лінійне прискорення, записане акселерометром (або IMU) в момент t (м с⁻²)

Δt - часовий інтервал між двома послідовними вимірюваннями

Θ_t - кут в момент t (рад)

Θ' - кутова швидкість в час t , виміряна гіроскопом (рад м⁻¹)

Мехатронні системи в тракторах з автоматичним керуванням

Як згадувалося на початку, мехатронні системи зараз відіграють важливу роль у сучасній сільськогосподарській техніці, особливо на інтелектуальних та роботизованих транспортних засобах. Наприклад, перші трактори з автоматичним керуванням вийшли на ринок на рубежі 21 століття; з точки зору навігації виробники сільськогосподарського обладнання приблизно на два десятиліття випереджали автомобільну промисловість. Такі трактори з автоматичним керуванням були б неможливі, якби вони не були модернізовані до найсучасніших мехатронних систем, які включають чутливі, керуючі та електромеханічні (або електрогідравлічні) виконавчі елементи. Одним з найбільш репрезентативних компонентів, які ніколи раніше не бачили на звичайних механічних тракторах як інтегрований елемент, є високоточний GPS-приймач, який надає тракторам можливість знаходити себе, щоб направляти його за визначеними шляхами.

Ранні навігаційні рішення, які були комерційно доступні, фактично не контролювали систему рульового управління трактором; скоріше, вони надавали трактористам бічні поправки в режимі реального часу, таким чином, щоб, дотримуючись цих виправлень, транспортний засіб легко відстежував заздалегідь визначену траєкторію. Цей підхід простий у вивченні та виконанні, оскільки оператору потрібно лише слідувати за індикатором світлового бару, де кількість увімкнених вогнів пропорційна бічній корекції, щоб тримати транспортний засіб на шляху. Крім простоти використання, ця система працює для будь-якої сільськогосподарської машини, в тому числі і для більш старих. На (рис. 1.6, а) показана система світлових смуг, встановлена на садовому тракторі, де червоне світло сигналізує користувачеві зробити негайну корекцію, щоб залишатися в межах траєкторії, показаної на РК-екрані.

Ще одним суттєвим удосконаленням сучасних тракторів на основі технології мехатроніки є електрогідравлічна система, яка дозволяє маневрувати тракторами. Це означає, що операція трактора, така як рульове управління або опускання приладу, встановленого на триточковій зчипці, може бути виконана за допомогою електрогідравлічної виконавчої системи з електронним управлінням у відповідь на сигнали управління, що генеруються комп'ютерним контролером. Електрогідравлічна система рульового управління дозволяє керувати трактором автоматично, виконуючи навігаційні команди, розраховані бортовим комп'ютером на основі отриманих сигналів позиціонування GPS. Існує популярне додаток автоматичного рульового управління відомий як паралельне відстеження, яке дозволяє тракторові, що рухається автоматично, слідувати бажаним шляхам паралельно опорній лінії між двома точками, скажімо, лінією А-В, у полі, записаному бортовою системою GPS. Ці опорні лінії можуть включати навіть криволінійні сектори. На (рис. 1.6, б) відображається екран управління комерційною системою автонаведення, реалізованої в тракторі колісного типу. Зверніть увагу, що величина відхилення

трактора (помилка поза колією) від заздалегідь визначеної траєкторії відображається на верхній панелі, аналогічно тому, як поправки, що передаються через світлові смуги. Впровадження автоматичного наведення зменшило перекриття від проходу до проходу, особливо з великим обладнанням, що призвело до значної економії насіння, добрив та фітосанітарних хімічних речовин, а також зменшило втому оператора. Фермери бачать віддачу від інвестицій всього за кілька років.

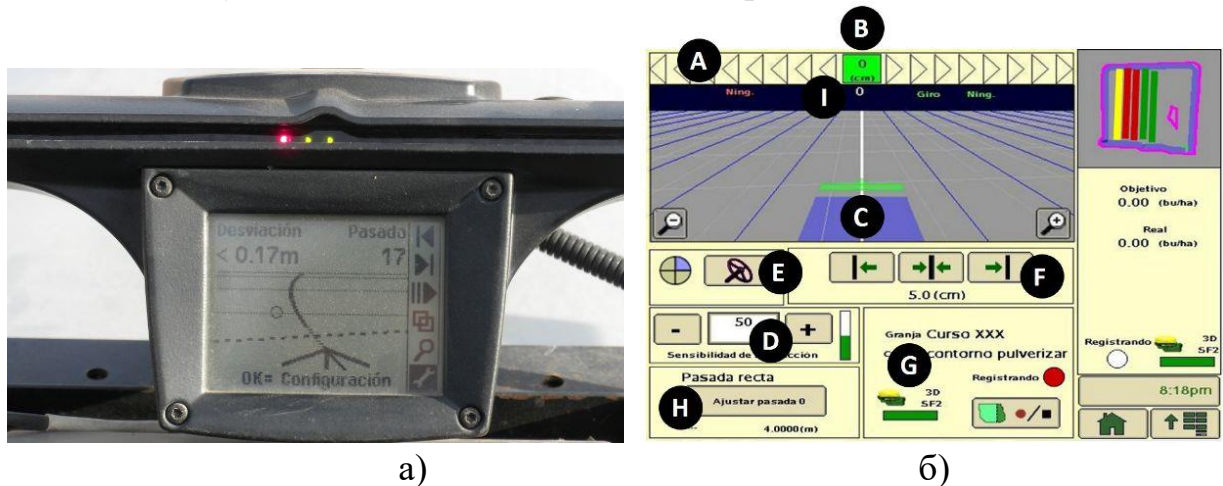


Рис. 1.6 - Системи автоматичного наведення: а) Комплект світлових смуг; б) Паралельний екран управління відстеження, де А - індикатор точності шляху, В - помилка поза доріжкою, С - являє собою піктограму наведення, D - забезпечує чутливість рульового управління, Е - сигналізує увімкнення/вимикання повороту, F - знаходить кнопки доріжки зсуву, G - це Індикатор стану GPS, Н - кнопка треку А-В (0), і I показую номер треку

Автоматичне керування додатками зі змінною швидкістю

Ідея внесення змінної норми (VRA) полягає в тому, щоб застосовувати потрібну кількість вхідних матеріалів, тобто насіння, добрив та пестицидів, у потрібний час та з точністю до ділянки, відходячи від середніх показників на ділянку, що призводить до економічних втрат та екологічних загроз. Мехатроніка дозволяє практично впровадити VRA для точного землеробства (ПА). Взагалі кажучи, сучасне обладнання VRA вимагає трьох ключових мехатронних компонентів: 1 - датчики, 2 - контролери та 3 - виконавчі механізми.

Точність показань можлива за допомогою GPS-приймачів, які забезпечують миттєве положення сільськогосподарського обладнання в певному місці в межах поля. Крім того, транспортні засоби потребують підтримки автоматизованого контролера додатків для доставки точної кількості продукту. Конкретна кількість продукту, що застосовується в кожному місці, зазвичай забезпечується або картою поля, попередньо завантаженої на комп'ютер машини, або, як варіант, оцінюється в режимі реального часу за допомоги бортових датчиків здоров'я культур.

Існують специфічні датчики, які повинні бути частиною системи VRA. Наприклад, для того, щоб інтелектуальні обприскувачі могли автоматично адаптувати швидкість подачі пестициду до властивостей дерев, потрібно

глобальне та місцеве позиціонування в полі або пов'язане з культурами. Добрива, з іншого боку, можуть мати користь від карт параметрів ґрунту (вологість, органіка, поживні речовини), а також рослинності (енергія, стрес, бур'яни, температура). У багатьох сучасних обприскувачах тиск і потік застосовуваних ресурсів (рідких або газоподібних) повинні відстежуватися, щоб підтримувати автоматичне управління і в кінцевому підсумку досягти точної швидкості внесення. Контролери - це пристрої, які розраховують оптимальну швидкість внесення на льоту і забезпечують інтелектуальний підхід в систему мехатроніки. Вони часто складаються з мікроконтролерів, що зчитують вимірювання датчиків або завантажених карт для розрахунку миттєвої швидкості застосування продукту на основі внутрішніх алгоритмів. Ця норма безперервно надсилається на виконавчі механізми для фізичного застосування продукту. Контролери можуть включати невеликі моніторні дисплеї або перемикачі для ручного включення з кабіни оператора, якщо це необхідно. Приводи - це електромеханічні або електрогідравлічні пристрої, які отримують електричні сигнали від контролерів для регулювання кількості продукту, що подається. Це регулювання зазвичай досягається шляхом зміни швидкості обертання насоса, зміни потоку, що надходить з бака, або зміни налаштувань клапана для регулювання тиску або потоку продукту. Зміна тиску розпилюваних рідин, однак, призводить до зміни розміру крапель, що небажано для боротьби з шкідниками. У цих випадках рекомендується використання розумних сопел, які управляються за допомогою ШІМ-сигналів.

Оскільки технологія VRA швидко прогресує, інтелектуальні аплікатори стають доступними в комерційних цілях, головним чином для товарних культур. Інтелектуальна система може автоматично регулювати кількість входів, розподілених у відповідь на потреби, навіть дозволяючи одночасне використання декількох видів обробки, що призводить до нових способів управління сільськогосподарським виробництвом. Наприклад, інтелектуальна сівалка VRA має можливість змінювати кількість насіння, висадженого в ґрунт, відповідно до потенціалу ґрунту, або за допомогою карти поля, або виявлених за допомогою бортових датчиків. Контроль норми висіву досягається за рахунок спрацьовування відкриття розподільного пристрою, щоб дати можливість пройти потрібну кількість насіння.

У багатьох випадках для досягнення точного контролю швидкості внесення потрібна система контролю зворотного зв'язку. Наприклад, при застосуванні рідких хімічних речовин на швидкість внесення можуть впливати зміни швидкості руху транспортного засобу, а також умови навколишнього середовища. Деякі розумні обприскувачі запрограмовані на точний контроль кількості рідкої хімічної речовини шляхом регулювання форсунок у відповідь на зміну швидкості руху обприскувача вперед. Зазвичай це здійснюється за допомогою електрично керованих соплових клапанів, які управляються бортовим процесором. Така мехатронна система могла додатково контролювати тиск і витрату системи в розподільному контурі за допомогою GPS-приймача, і навіть компенсувати зміни кількості рідини, що виходить з форсунок, що виникають внаслідок зміни тиску або схеми потоку в контурі.

Реконструкція системи рульового управління трактора з електрогідравлічними компонентами

Реалізація можливостей автонаведення в тракторі вимагає електричного керування системою рульового управління для автоматизованого повороту передніх коліс. Тому необхідно замінити традиційну гідравлічну систему рульового управління на електрогідравлічну систему. Це може бути досягнуто, шляхом заміни звичайного рульового регулюючого клапана рульового управління (рис. 1.7, а) на електрогідравлічну систему управління. Така система (рис. 1.7, б) складається з поворотного потенціометра для відстеження руху рульового колеса, електронного контролера для перетворення сигналу керма в керуючий сигнал і електрогідравлічного регулюючого клапана з електрогідравлічним приводом для реалізації поставленого сигналу управління.

Модернізована електрогідравлічна система рульового управління може приймати сигнали управління від комп'ютерного контролера, що дозволяє створювати відповідні команди рульового управління з точки зору виходів з автоматичної керованої системи, що робить навігацію можливою без людини для досягнення автономних операцій з трактором. Оскільки основні компоненти електрогідравлічної системи з'єднані проводами, таку операцію ще називають «спрацьовування дротом».

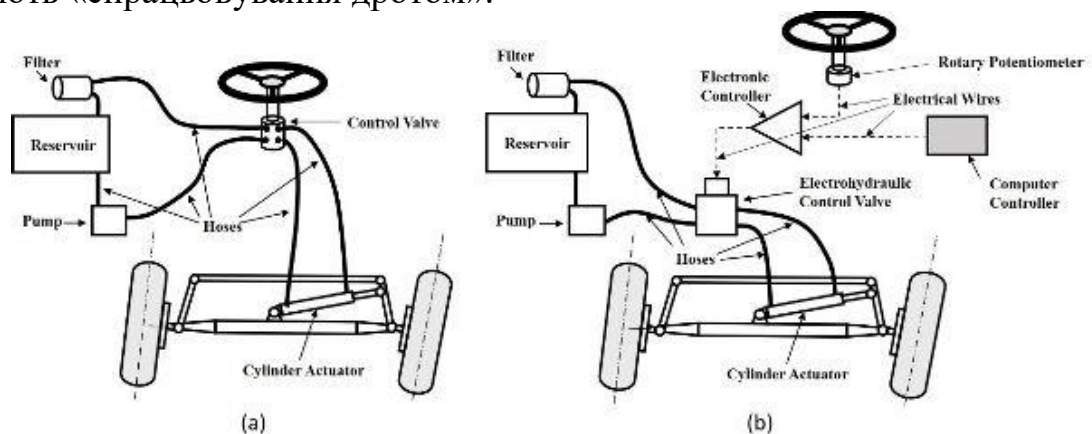


Рис. 1.7 - Системи рульового управління трактора: а) традиційна гідравлічна система рульового управління; і б) електрогідравлічна система рульового управління

Використання ультразвукових датчиків для вимірювання діапазонів

Сільськогосподарській техніці часто потрібно «усвідомлювати» положення об'єктів поблизу сільськогосподарських операцій, а також положення техніки. Для виконання таких вимірювань часто використовуються ультразвукові датчики.

Для використання ультразвукового або сонарного датчика часто потрібен мікропроцесор для перетворення аналогових сигналів (які знаходяться в діапазоні 0-5 В) з ультразвукового датчика в цифрові сигнали, так що записані дані можуть бути додатково використані іншими компонентами автоматизованої або роботизованої техніки. Для прикладу розглянемо HC-SR04, який складається з випромінювача звуку та ехоприймача таким чином, що він вимірює час, що минув між звуковою хвилею, що надсилається випромінювачем, та її поверненням назад від цільового об'єкта. Швидкість

звуку становить приблизно $330 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, що означає, що йому потрібно 3 с для руху звуку 1000 м. Датчик HC-SR04 може вимірювати діапазони до 4,0 м, отже, вимірювання часу знаходяться в порядку мілісекунд і мікросекунд для дуже коротких діапазонів. Звук повинен подорожувати по повітрю, а швидкість звуку залежить від умов навколишнього середовища, головним чином від температури навколишнього середовища. Якщо цей датчик використовується в спекотний літній день із середньою температурою 35°C , наприклад, за допомогою Equation 3.4.9, скоригована швидкість звуку буде трохи вищою, $352 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

На (рис. 1.8) показано, як датчик був підключений до комерційного продукту (мікропроцесор Arduino Uno, для ілюстрації) у лабораторній установці (також для ілюстрації). Виконавши всю проводку системи, як показано на (рис. 8), необхідно вибрати невикористаний USB-порт і будь-яку з встановлених за замовчуванням швидкостей передачі даних в інтерфейсі комп'ютера. Якщо швидкість передачі даних і послідовний порт належним чином встановлені в комп'ютері з дисплеєм консолі, а вимірювані діапазони були встановлені за допомогою програмного забезпечення на частоті оновлення 1 Гц, система може потім виконувати одне вимірювання в секунду. Після того, як система була налаштована, важливо перевірити її точність і надійність, перемістивши цільовий об'єкт в просторі попереду датчика.

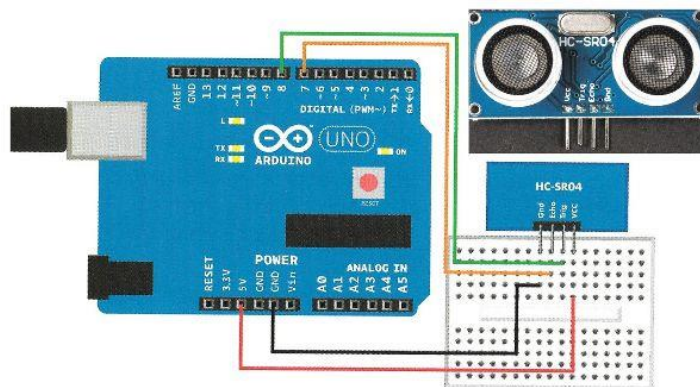


Рис. 1.8 - Збірка ультразвукового далекоміра HC-SR04 з мікропроцесором Arduino

Розв'язання практичних завдань Оцифровка аналогових сигналів

Проблема: мехатронні системи вимагають датчиків для контролю виконання автоматизованих операцій. Аналогові датчики зазвичай використовуються для таких завдань. Рульовий механізм на основі мехатроніки використовує лінійний потенціометр для оцінки кута повороту керма трактора з автоматичним керуванням, виводячи аналоговий сигнал у вольтах при обертанні передніх коліс. Щоб отримані дані були придатні для використання комп'ютеризованою системою для автоматизації рульового управління, необхідно перетворити аналогові дані в цифровий формат.

Завдання: враховуючи аналоговий сигнал, що надходить від потенціометра керма, оцифруйте сигнал, використовуючи 4 біти роздільної здатності, цими кроками.

1. Розрахуйте кількість рівнів, закодованих 4-бітним сигналом, враховуючи, що мінімальна напруга, що виводиться потенціометром, становить 1,2 В, а максимальна напруга обмежена 4,7 В, тобто будь-яке показання, що надходить з потенціометра, буде належати інтервалу 1,2-4,7 В. З якої кількості кроків складається цей цифровий сигнал?

2. Встановіть відповідність між аналоговими показаннями в межах інтервалу і кожним цифровим рівнем від 0000 до 1111, склавши таблицю для відображення кореляції між сигналами.

3. Побудуйте обидва сигнали накладанням, щоб графічно зобразити ефект оцифровки сигналу та втрату точності за процесом. Яким буде цифрове значення, відповідне показанню потенціометра в 4,1 В?

Рішення:

Лінійний потенціометр має стрижень, положення якого змінюється від втягування (1,2 В) до повного подовження (4,7 В). Будь-яке положення стрижня між обома крайніми положеннями буде відповідати напрузі в діапазоні 1,2-4,7 В. Кількість рівнів L , закодованих в сигналі для $n = 4$ біт, обчислюється за рівнянням 1:

$$L = 2^n = 2^4 = 16 \text{ рівнів}$$

Таким чином, кількість кроків між найнижчим цифровим числом 0000 і найвищим 1111 становить 15 інтервалів. У таблиці 1.1 вказано кожне цифрове значення, кодоване 4-бітовим сигналом, враховуючи, що розмір кожного інтервалу ΔV задається.

Таблиця 1.1 - Оцифровка аналогового сигналу з 4 бітами між 1,2 В і 4,7 В

Біт				4-бітний цифровий сигнал	Аналогова еквівалентність (V)
1	2	3	4		
			1	1 1 1 1	4.70000
		1	0	1 1 1 0	4.4666
	1		1	1 1 0 1	4.23333
		0	0	1 1 0 0	4.00000
1			1	1 0 1 1	3.7666
	1		0	1 0 1 0	3.533
		0	1	1 0 0 1	3.30000
		0	0	1 0 0 0	3.0666

Біт				4-бітний цифровий сигнал	Аналогова еквівалентність (V)
1	2	3	4		
			1	0 1 1 1	2.83333
	1		0	0 1 1 0	2.60000
	1	1	1	0 1 0 1	2.36666
	1	1	0	0 1 0 0	2.13333
0			1	0 0 1 1	1.90000
	0		0	0 0 1 0	1.66666
	0	1	1	0 0 0 1	1,433
	0	1	0	0 0 0 0	1.20000

$$\Delta V = (4,7 - 1,2) / 15 = 3,5 / 15 = 0,233 \text{ V.}$$

Показання потенціометра 4,1 В належить до інтервалу між [4.000, 4.233], тобто більшим або рівним 4 В і меншим за 4,233 В, що згідно з табл. 1.1 відповідає 1101. Відмінності нижче 233 мВ реєструватися при 4-бітному сигналі не будуть. Однак, збільшивши кількість біт, похибка зменшиться і профіль «сходи» (рис. 1.9) буде ставати все ближче і ближче до прямої, що з'єднує 1,2 В і 4,7 В.

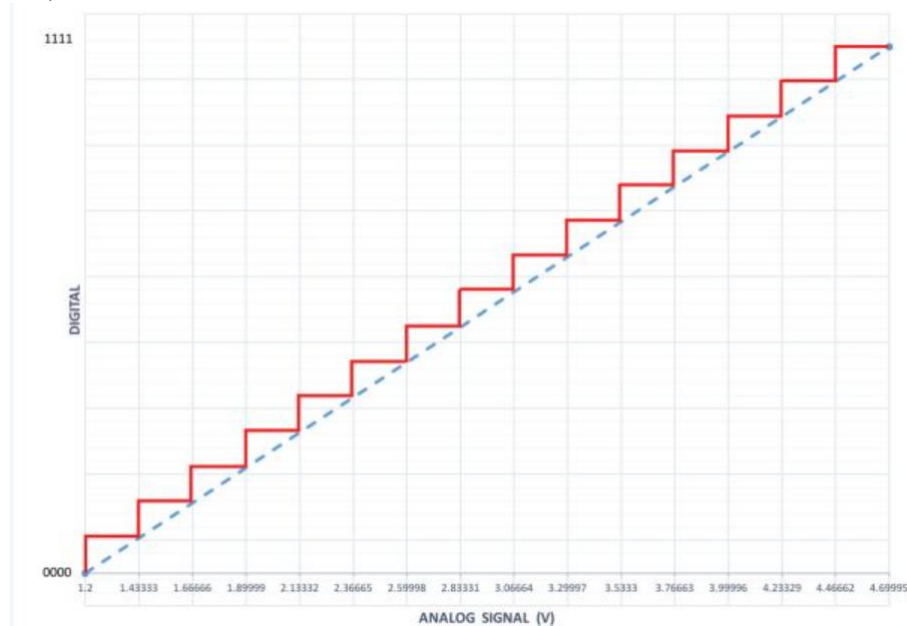


Рис. 1.9 - Оцифровка аналогового сигналу з 4 бітами між 1,2 В і 4,7 В

Трансформація координат GPS

Проблема: робот для геодезії ґрунту використовує GPS-приймач для визначення місця відбору проб, що утворюють сітку в полі. Ці пункти є орієнтиром для кількох застосувань точного землеробства, пов'язаних з просторовим розподілом властивостей ґрунту, таких як компактність, рН та вміст вологи. Дані про місцезнаходження (табл. 2), що надаються приймачем GPS, мають стандартний формат коду NMEA.

Завдання: перетворіть дані (тобто геодезичні координати, надані портативним приймачем GPS) на кадр локальної дотичної площини (LTP), щоб бути більш корисними для фермерів.

Рішення: перший крок у процесі перетворення вимагає вибору еталонного еліпсоїда. Виберіть еталонний еліпсоїд WGS 84, оскільки він широко використовується для сільськогосподарських застосувань. Використовуючи рівняння 2-5 та застосовуючи функцію перетворення, рівняння 6 для 23 точок, заданих у геодезичних координатах таблиця 1.2, щоб перетворити їх у координати LTP. Для цього еталонного еліпсоїда:

$$a = \text{semi-major axis of WGS 84 reference ellipsoid} = 6378137 \text{ m}$$

$$e = \text{eccentricity of WGS 84 reference ellipsoid} = 0,0818$$

$$N_0(\lambda) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \lambda}} \quad (2)$$

$$X = (N_0 + h) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \phi \quad (3)$$

$$Y = (N_0 + h) \cdot \cos \lambda \cdot \sin \phi \quad (4)$$

$$Z = [h + N_0 \cdot (1 - e^2)] \cdot \sin \lambda \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} N \\ E \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \lambda \cdot \cos \phi & -\sin \lambda \cdot \sin \phi & \cos \lambda \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ -\cos \lambda \cdot \cos \phi & -\cos \lambda \cdot \sin \phi & -\sin \lambda \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Довжина нормалі N_0 - відстань від поверхні еліпсоїда відліку до його перетину з віссю обертання i [λ , ϕ , h] - точка в геодезичних координатах, зафіксована приймачем GPS; $[X, Y, Z]$ - точка, перетворена на координати ECEF (m), причому $[X_0, Y_0, Z_0]$ є визначеним користувачем початком координат у ECEF; а $[N, E, D]$ є точкою, яка перетворена в координати LTP (m).

Таблиця 1.2 - GPS геодезичні координати польових точок

Точка	Широта (°)	Широта (хв)	Довгота (°)	Довгота (хв)	Висота над рівнем моря (м)
Походження	39	28.9761	0	-20.2647	4.2
1	39	28.9744	0	-20.2539	5.1
2	39	28.9788	0	-20.2508	5.3
3	39	28.9827	0	-20.2475	5.9

Точка	Широта (°)	Широта (хв)	Довгота (°)	Довгота (хв)	Висота над рівнем моря (м)
4	39	28.9873	0	-20.2431	5.6
5	39	28.9929	0	-20.2384	4.8
6	39	28.9973	0	-20.2450	5.0
7	39	28.9924	0	-20.2500	5.2
8	39	28.9878	0	-20.2557	5.2
9	39	28.9832	0	-20.2593	5.4
10	39	28.9792	0	-20.2626	5.2
11	39	28.9814	0	-20.2672	4.8
12	39	28.9856	0	-20.2638	5.5
13	39	28.9897	0	-20.2596	5.5
14	39	28.9941	0	-20.2542	5.0
15	39	28.9993	0	-20.2491	5.0
16	39	29.0024	0	-20.2534	5.1
17	39	28.9976	0	-20.2590	4.9
18	39	28.9929	0	-20.2643	4.9
19	39	28.9883	0	-20.2695	4.9
20	39	28.9846	0	-20.2738	4.8
21	39	28.9819	0	-20.2770	4.7
22	39	28.9700	0	-20.2519	4.5

MATLAB® може забезпечити зручне середовище програмування для перетворення геодезичних координат у плоский кадр та збереження їх у текстовому файлі. Таблиця 1.3 підсумовує результати, як вони відобразяться у файлі MATLAB® (m).

Таблиця 1.3 - Координати LTP для поля, обстежуваного за допомогою GPS приймача

Точка	Схід (м)	Північ (м)	Вниз (м)
Походження	0	0	0
1	15.5	-3.1	-0.9
2	19.9	5.0	-1.1
3	24.7	12.2	-1.7
4	31.0	20.7	-1.4
5	37.7	31.1	-0.6
6	28.2	39.2	-0.8
7	21.1	30.2	-1.0
8	12.9	21.6	-1.0
9	7.7	13.1	-1.2
10	3.0	5.7	-1.0
11	-3.6	9.8	-0.6
12	1.3	17.6	-1.3
13	7.3	25.2	-1.3
14	15.1	33.3	-0.8
15	22.4	42.9	-0.8

Точка	Схід (м)	Північ (м)	Вниз (м)
16	16.2	48.7	-0.9
17	8.2	39.8	-0.7
18	0.6	31.1	-0.7
19	-6.9	22.6	-0.7
20	-13.0	15,7	-0.6
21	-17.6	10.7	-0,5
22	18.3	-11.3	-0,3

Ці 23 точки огляду можуть бути побудовані в декартовій рамці Схід-Північ, а саме в координатах ЛТР, щоб побачити їх просторовий розподіл у полі, з орієнтованими осями Сходу та Півночі, як показано на (рис. 1.10).

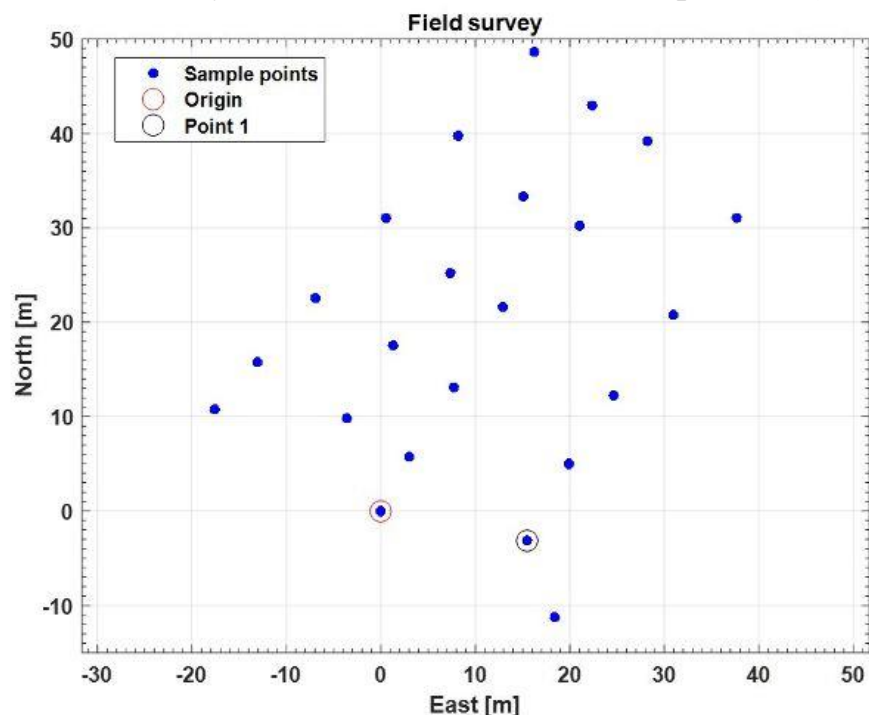


Рис. 1.10 - Планарне зображення 23 точок, відібраних у полі з локальним походженням

Важливою перевагою використання плоских координат, таких як ЛТР, є те, що евклідова геометрія може широко використовуватися для обчислення відстаней, площ та об'ємів. Наприклад, щоб обчислити загальну площу, покриту обстежуваної сіткою, розділіть отриману трапецію на два неправильних трикутника (рис. 1.11), один визначається точками А-В-С, а

інший точками А-В-D. Застосуйте евклідову геометрію для обчислення площі нерегулярного трикутника з вимірювання його трьох сторін за допомогою рівняння:

$$\text{Area} = \sqrt{K(K - a)(K - b)(K - c)}, \quad (12)$$

де a, b і c - довжини трьох сторін трикутника, $K = \frac{a+b+c}{2}$.

Відстань між двома точками А і В також можна визначити за наступним рівнянням:

$$L_{A-B} = \sqrt{(E_A - E_B)^2 + (N_A - N_B)^2}, \quad (13)$$

де L_{A-B} - евклідова відстань (пряма) між точками А і В (м),

E_A, N_A - координати ЛТР на схід і північ від точки А (м),

E_B, N_B - координати ЛТР на схід і північ від точки В (м), розраховані в таблиці 1.3.

Використовуючи рівняння площі, площі двох трикутників, представлених на (рис. 1.11), визначаються як 627 м^2 для жовтого трикутника (ADB) і 1054 м^2 для зеленого трикутника (ABC), загальною площею 1681 м^2 . Відповідні евклідові відстані складають 50,9 м, 42,1 м, 60,0 м, 27,8 м і 46,6 м відповідно для L_{A-C} , L_{C-B} , L_{A-B} , L_{A-D} і L_{D-B} , як:

$$L_{A-B} = \sqrt{(E_A - E_B)^2 + (N_A - N_B)^2} = \sqrt{(16,2 - 18,3)^2 + (48,7 - (-11,3))^2} = 60.$$

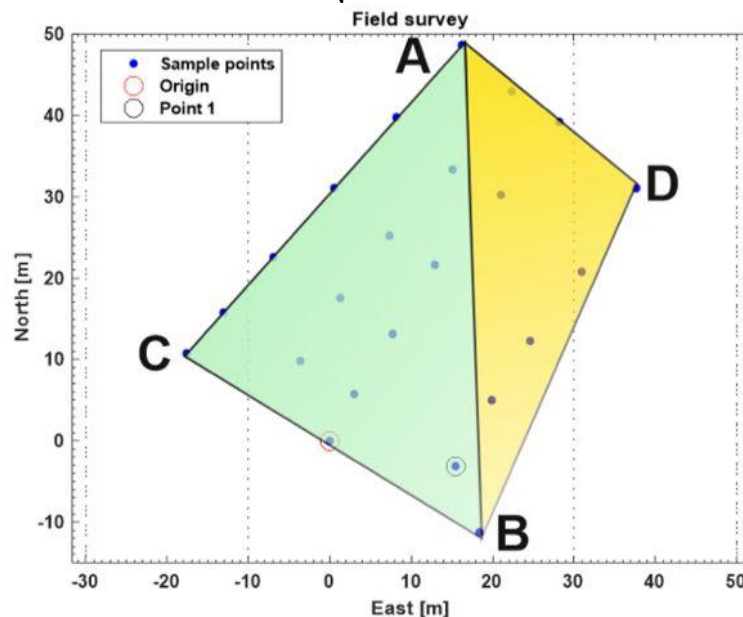


Рис. 1.11 - Оцінка площі, охопленої вибірковими точками в обстежуваному полі

Ми нічого не говорили про напрямок Z поля, але стовпець «Висота» в таблиці 2 та стовпець «Вниз» у таблиці 3 говорять про те, що поле досить рівне, оскільки висота точок над землею не сильно змінюється вздовж 22 точок.

На (рис. 1.12) показані вибіркові точки (рис. 1.10), накладені супутниковим зображенням, що дозволяє користувачам знати додаткові деталі поля, такі як тип культури, смуги руху, навколишні будівлі, що впливають на продуктивність GPS та іншу відповідну інформацію.



Рис. 1.12 - Вибіркові точки над супутниковим знімком досліджуваної ділянки початок у точці 23

Конфігурація системи машинного зору для виявлення помідорів черрі на інтелектуальному комбайні

Проблема: припустимо, що ви берете участь у розробці системи якості в полі для перевірки на льоту продукції на борту інтелектуального комбайна помідорів чері.

Завдання: вашим конкретним завданням є розробка системи машинного зору для виявлення плям помідорів чері, які транспортуються конвеєрною стрічкою на комбайні, як показано на (рис. 1.13). Вам потрібно використовувати існуючу камеру, яка несе в собі ПЗС-датчик розмірами 6,4 мм × 4,8 мм. Простір, дозволений для монтажу камери, висота камери h , становить близько 40 см над поясом. Однак ви можете придбати будь-яку лінзу, щоб забезпечити горизонтальний FOV 54 см, щоб покрити всю ширину конвеєрної стрічки. Визначте необхідну фокусну відстань об'єктива.

Рішення:

Першим кроком у розробці цієї системи зондування є обчислення фокусної відстані (f) об'єктива, необхідного для покриття запитуваного поля зору. Зазвичай розрахунок фокусної відстані вимагає знання двох основних параметрів геометрії лінзи: відстань між датчиком ПЗС та оптичним центром лінзи, d_1 , і відстань між оптичним центром лінзи та конвеєрною стрічкою, d_2 . Ми знаємо $d_2 = 400$ мм, FOV = 540 мм, а A , горизонтальний розмір датчика зображення, становить 6,4 мм, тому d_1 можна легко визначити за рівняннями 8 і 9:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{A}{FOV}$$

Таким чином,

$$d_1 = \frac{Ad_2}{FOV} = \frac{6.4 \cdot 400}{540} = 4,75 \text{ мм}$$

Фокусну відстань, f , потім можна визначити за допомогою рівняння 8:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}$$
$$f = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2} = \frac{4,74 \cdot 400}{4,74 + 400} = 4,68 \text{ мм}$$

Жоден виробник лінз, швидше за все, не запропонує об'єтив з фокусною відстанню 4,68 мм; отже, ви повинні вибрати найближчий з того, що є у продажу. Об'єктиви, комерційно доступні для цієї камери, мають наступні фокусні відстані: 2,8 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 12 мм та 16 мм. Правильний підхід полягає у виборі найкращого об'єктива для цієї програми та відрегулювати відстань між камерою та поясом, щоб забезпечити охоплення запитуваного FOV. Із запропонованого вище списку найкращим варіантом є вибір лінзи з $f = 4$ мм. Цей вибір трохи змінить початкові параметри, і вам доведеться відрегулювати деякі початкові умови, щоб підтримувати той же FOV, що є головною умовою для виконання. Найпростішою модифікацією буде зниження положення камери на відстань 34 см до конвеєра ($d_2 = 340$ мм від рівняння фокусної відстані). Якщо камера фіксована і d_2 повинна залишатися на початкових 40 см, отримане поле зору буде більше необхідних 54 см, а застосування методів обробки зображень буде необхідним для видалення непотрібних ділянок зображень.

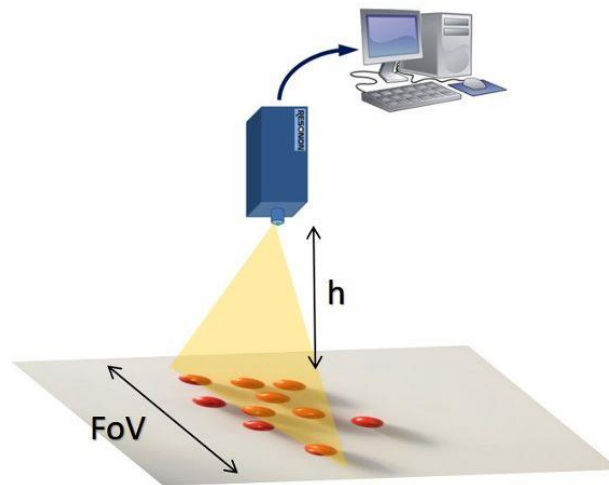


Рис. 1.13 - Геометричні вимоги системи огляду на основі зору для конвеєрної стрічки на комбайні

Оцінка швидкості робота за допомогою акселерометра

Проблема:

Таблиця 1.4 - Прискорення транспортного засобу, зафіксованого за допомогою акселерометра рис. 1.14 а

Точка даних	Час (и)	Прискорення (g)
1	7.088	0,005
2	8.025	0,018
3	9.025	0,009
4	10.025	0,009
5	11.025	0,008
6	12.025	0,009
7	13.025	0,009
8	14.025	0,009
9	15.025	0,008
10	16.025	0,008
11	17.025	0,009
12	18.025	0,009
13	19.025	0,008
14	20.088	0,009
15	21.088	-0,009
16	21.963	-0.019
17	23.025	-0,001

Акселерометр (рис. 1.14, а) був встановлений в сільськогосподарському роботі (рис. 1.14, с). При русі по виноградникових рядах вихідні вимірювання з акселерометра були зафіксовані в таблиці 4, включаючи час кожного вимірювання і відповідне йому лінійне прискорення в прямому напрямку, заданому в г, гравітаційне прискорення.

Завдання:

1. Обчисліть миттєве прискорення кожної точки в м с^{-2} , враховуючи, що один g еквівалентний $9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$.
2. Обчисліть час, що минув між послідовними вимірами Δt в с.
3. Оцініть середню частоту дискретизації (Гц), при якій працював акселерометр.
4. Обчисліть відповідну швидкість для кожного вимірювання за допомогою рівняння 10, враховуючи, що транспортний засіб починав із положення спокою ($V_0 = 0 \text{ м с}^{-1}$) і завжди рухався вперед.
5. Побудуйте прискорення робота (м с^{-2}) та швидкість (км год^{-1}) для тривалості тестового пробігу.



а)



б)



с)

Рис. 1.14: а) Акселерометр Gulf Coast X2-2; б) кріплення датчика; в) в сільськогосподарському роботі

Рішення: Таблицю 1.4 можна доповнити множенням прискорення, вираженого в g , на 9.8, і застосуванням виразу $\psi t = t_k - t_{k-1}$ до кожної точки таблиці, крім першої точки t_1 , яка не має попереднього виміру.

Точка даних	Час (и)	Прискорення (g)	Прискорення (м с ⁻²)	Δt (с)
1	7.088	0,005	0,050	0
2	8.025	0,018	0.179	0,938
3	9.025	0,009	0.091	1.000
4	10.025	0,009	0,085	1.000
5	11.025	0,008	0.083	1.000
6	12.025	0,009	0,088	1.000
7	13.025	0,009	0,085	1.000
8	14.025	0,009	0.084	1.000
9	15.025	0,008	0,080	1.000
10	16.025	0,008	0.081	1.000
11	17.025	0,009	0.086	1.000
12	18.025	0,009	0.084	1.000
13	19.025	0,008	0.083	1.000
14	20.088	0,009	0.089	1.063
15	21.088	-0,009	-0.092	1.000
16	21.963	-0.019	-0.187	0,875
17	23.025	-0,001	-0,009	1.063
			Середній	0,996

Згідно з попередніми результатами, середній час, що пройшов між двома послідовними вимірюваннями Δt , становить 0,996 с, що відповідає приблизно одному виміру в секунду, або 1 Гц. Швидкість транспортного засобу можна оцінити з його прискорення за допомогою рівняння 10. У таблиці 1.5 вказано розрахунок при кожному конкретному вимірі.

На (рис. 1.15) зображено вимірне прискорення і розрахункову швидкість за заданий часовий проміжок 16 секунд. Зверніть увагу, що є точки даних з негативним прискоренням (уповільненням), але швидкість ніколи не є негативною, оскільки транспортний засіб завжди рухався вперед або залишався в стані спокою. Акселерометри страждають від оцінки похибок, і в результаті кінцева швидкість, розрахована в таблиці 1.5, може виявитися не дуже точною. Отже, доцільно з практики оцінювати швидкості машини за допомоги принаймні двох незалежних датчиків, що працюють за різними принципами. У цьому прикладі, наприклад, швидкість руху вперед також оцінювалася за допомогою бортового приймача GPS.

Таблиця 1.5 - Швидкість робота оцінюється за допомогою акселерометра

Точка даних	Прискорення (м с ⁻²)	ψ t (с)	Швидкість (м с ⁻¹)	V (км год ⁻¹)
1	0,050	0	$V_1 = V_0 + a_1 \cdot \Delta t = 0 + 0,05 \cdot 0 = 0$	0,0
2	0.179	0,938	$V_2 = V_1 + a_2 \cdot \Delta t = 0 + 0,179 \cdot 0,938 = 0,17$	0,6
3	0.091	1.000	$V_3 = V_2 + a_3 \cdot \Delta t = 0,17 + 0,091 \cdot 1 = 0,26$	0,9
4	0.085	1.000	0,34	1,2
5	0.083	1.000	0,43	1,5
6	0,088	1.000	0,51	1,9
7	0.085	1.000	0,60	2,2
8	0.084	1.000	0,68	2,5
9	0.080	1.000	0,76	2,7
10	0.081	1.000	0,84	3,0
11	0.086	1.000	0,93	3,3

Точка даних	Прискорення (м с ⁻²)	ψ m (с)	Швидкість (м с ⁻¹)	V (км год ⁻¹)
12	0.084	1.000	1.01	3,7
13	0.083	1.000	1.10	3,9
14	0.089	1.063	1.19	4,3
15	-0.092	1.000	1.10	4,0
16	-0.187	0,875	0,94	3,4
17	-0,009	1.063	0,93	3,3

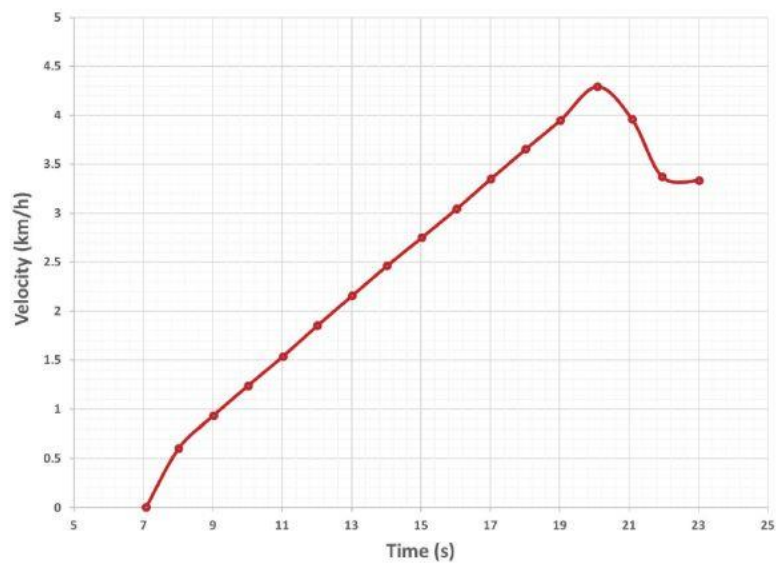
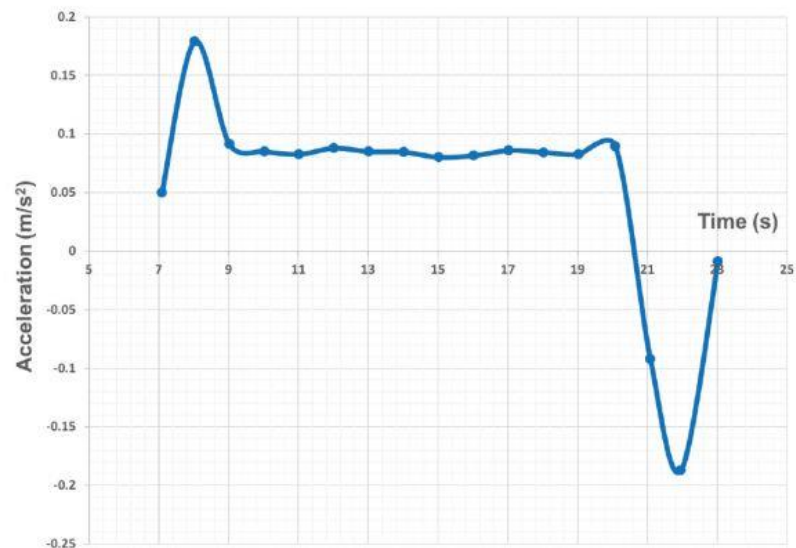


Рис. 1.15 - Прискорення і швидкість роботи ферми оцінюється за допомогою акселерометра

Змінні

θ_t = кут в момент t

$\dot{\theta}_t$ = кутова швидкість в час t вимірюється гіроскопом

λ = широта

φ = довгота

a = пів-велика вісь еталонного еліпсоїда WGS 84

a_t = лінійне прискорення, записане акселерометром або інерційною одиницею вимірювання

A = горизонтальний розмір датчика зображення

d_1 = відстань між датчиком зображення і оптичним центром лінзи

d_2 = відстань між оптичним центром лінзи і цільовим об'єктом

e = ексцентриситет еталонного еліпсоїда WGS 84

f = фокусна відстань об'єктива

FOV = горизонтальне поле зору, охоплене зображеннями

h = висота

L = кількість цифрових рівнів в процесі квантування

n = кількість бітів

(N, E, D) = LTP координати північ, схід, вниз

N_0 = довжина нормалі

Δt = інтервал часу між двома послідовними вимірюваннями

T = температура навколишнього середовища

V = швидкість звуку по повітрю

V_t = швидкість руху транспортного засобу в момент t

(X, Y, Z) = координати ECEF

(X_0, Y_0, Z_0) = визначене користувачем походження координат у форматі ECEF

Запозичення зображення

Рис. 1.1а. Джон Дір. (2020). Автономна косарка. Отримано з www.deere.es//кампанії/ag-turf/tango/.

Рис. 1.1б. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). (б) Автономний трансплантатор рису на основі GPS.

Рис. 1.2. Переверене дослідження ринку (2018). (КУБ.СМ ЗА 4.0). (2020). Очікуване зростання ринку сільськогосподарських робіт.

Рис. 1.3. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Архітектура датчиків для інтелектуальних сільськогосподарських транспортних засобів.

Рис. 1.4. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Геометричний зв'язок між датчиком зображення, лінзою та FOV.

Рис. 1.5. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Сегментація мандаринових апельсинів на основі кольору.

Рис. 1.6. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Системи автоматичного наведення: а) Комплект світлової панелі; б) Екран управління паралельним відстеженням.

Рис. 1.7. Чжан, Q. (CC BY 4.0). (2020). Системи рульового управління трактора: (а) традиційна гідравлічна система рульового управління; і (б) електрогідравлічна система рульового управління.

Рис. 1.8. Адаптовано з Т.Карвінен, Карвінен К.М., Валтокарі (Марка: Сенсори, Maker Media, 2014). Збірка ультразвукового далекоміра HC-SR04 з процесором Arduino. [Сумлінне використання].

Рис. 1.9. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Оцифровка аналогового сигналу з 4 бітами між 1,2 В і 4,7 В.

Рис. 1.10. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Планарне зображення 23 точок, відібраних у полі з локальним походженням.

Рис. 11. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Оцінка площі, яку охоплюють вибіркові точки в обстежуваному полі.

Рис. 1.12. Сайз-Рубіо, В. (CC BY 4.0). Вибіркові точки над супутниковим знімком обстежуваної ділянки (походження в № 23).

Рис. 1.13. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Геометричні вимоги системи нагляду на основі зору для конвеєрної стрічки на комбайні.

Рис. 1.14а. Концепції даних узбережжя Перської затоки. Акселерометр узбережжя затоки X2-2. Отримано з <http://www.gcdataconcepts.com/x2-1.html>.

Рис. 1.14b & 14c. Сайз-Рубіо, В. (CC BY 4.0), б) кріплення датчика, с) монтаж сільськогосподарського робота.

Рис. 1.15. Ровіра-Маш, Ф. (CC BY 4.0). (2020). Прискорення і швидкість роботи ферми оцінюється за допомогою акселерометра.

Питання для самоконтролю

1. Пояснити призначення інтелектуальної техніки для сільськогосподарських операцій.

2. Описати загальні чутливі пристрої для інтелектуальних сільськогосподарських машин, такі як інерційні вимірювальні блоки, далекоміри, цифрові камери та приймачі позиціонування глобальної навігаційної супутникової системи.

3. Застосовувати важливі концепції механізованого та роботизованого землеробства до відповідних випадків використання.

Посилання

1. Bolton, W. (1999). *Mechatronics* (2nd ed). New York: Addison Wesley Longman Publishing. (Болтон, В. (1999). *Мехатроніка* (2-е видання). Нью-Йорк: Видавництво Еддісона Уеслі Лонгмана).

2. Mукlevy, M., Doherty, P., & Makower, J. (2016). *The new grand strategy*. New York: St. Martin's Press. (Миклевий М., Догерті П., Маковер Дж. Нова грандіозна стратегія. Нью-Йорк: Преса Сент-Мартіна).

3. Rovira-Más, F., Zhang, Q., & Hansen, A. C. (2010). *Mechatronics and intelligent systems for off road vehicles*. London: Springer-Verlag. (Ровіра-Мас, Ф., Чжан, К., Хансен, А.К. (2010). *Мехатроніка та інтелектуальні системи для позашляховиків*. Лондон: Спрінгер-Верлаг).

4. Russell, S., & Norvig, P. (2003). Artificial Intelligence: a modern approach (2nd ed). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. (Рассел, С., Норвіг, П. (2003). Штучний інтелект: сучасний підхід (2-е видання). Верхня річка Сідло, Нью-Джерсі: Прентіс Холл)

5. Verified Market Research. (2018). Global agriculture robots market size by type (driverless tractors, automated harvesting machine, others), by application (field farming, dairy management, indoor farming, others), by geography scope and forecast. Report ID: 3426. Verified Market Research Inc.: Boonton, NJ, USA, pp. 78. (Перевірене дослідження ринку. Розмір ринку глобальних сільськогосподарських роботів за типом (безпілотні трактори, автоматизовані збиральні машини та інші), за напрямками застосування (польове тваринництво, управління молочними продуктами, домашнє тваринництво та інші), за географією та прогнозом. Код звіту: 3426. Переверено дослідження ринку Inc.: Boonton, Нью-Джерсі, США, стор. 78.)

6. Original source: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/93254>.

7. Мехатроніка та інтелектуальні системи в сільськогосподарській техніці: <https://ukrayinska.libretexts.org>

Навчальне видання

**АРХІТЕКТУРА ДАТЧИКІВ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

Методичні вказівки
для самостійної підготовки та виконання практичної роботи

Укладачі:

БЛЕЗНЮК Олег Володимирович
КОВАЛЬОВ Олександр Вікторович

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. _ .Наклад ___ пр. Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44