

- Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». 2024 міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. - Харків : ДБТУ, 2024 С. 154.
3. Макаренко М. Г., Бондаренко К. А., Бондаренко В. О. Використання штучного інтелекту і доповненої реальності при дослідженні маневрових якостей автомобілів. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoTRAK-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. С. 90-92.
 4. Макаренко М. Г., Калашник Є. А. Переваги переходу до проактивного технічного обслуговування тракторів. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. - Харків: ДБТУ, 2024 С. 189.
 5. М. Г., Макаренко, Шевченко І. О. Роль штучного інтелекту та машинного навчання у підвищенні точності та надійності автомобільних систем. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoTRAK-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. С. 93-96.
 6. Макаренко М. Г., Пиріжок В. І, Кривоніс С. В. Використання штучного інтелекту при дослідженні маневрових якостей тракторів. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoTRAK-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. С. 86-89.
 7. Макаренко М. Г., Бондаренко К. А. Використання інтелектуальних систем адаптивного керування підвіскою автомобіля. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. - Харків: ДБТУ, 2024 С. 155.
 8. М.Г., Макаренко, Хейло В.О. Використання штучного інтелекту для вбудованих систем діагностики автомобілів. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoTRAK-2024». Київ: НУБіП України, 2024. С.82-85.

УДК 631.3.076

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ТРАКТОРА ПО ЗАДАНИЙ ТРАЄКТОРІЇ ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Пиріжок В. І. магістрант; Макаренко М. Г. доцент

Державний біотехнологічний університет

Метою дослідження є аналіз методів підвищення стійкості руху трактора за допомогою інтелектуальних систем, проаналізовано переваги застосування таких систем та наведено результати досліджень з практичного застосування адаптивних і прогностичних систем керування.

З кожним роком зростає попит на технологічно оснащені та високоточні сільськогосподарські машини. Особливо важливими є машини, які здатні ефективно працювати в умовах змінного рельєфу та різних типів ґрунтів, зберігаючи стабільність руху по заданій траєкторії. Для вирішення цих завдань усе більшого значення набувають інтелектуальні системи керування, що використовують алгоритми аналізу та прогнозування для забезпечення

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». 2024 оптимальної траєкторії руху трактора [1 - 4].

У сільському господарстві традиційно використовувалися системи керування, засновані на автоматичному або дистанційному контролі, які мали обмежені можливості щодо адаптації до змін навколишнього середовища. З розвитком цифрових технологій з'явилася можливість застосування алгоритмів машинного навчання та методів штучного інтелекту, що здатні динамічно коригувати траєкторію руху в режимі реального часу. Дослідження показують, що такі системи можуть значно знизити кількість відхилень трактора від заданої траєкторії навіть на складних ділянках місцевості [5, 6].

Інтелектуальні системи керування базуються на алгоритмах, які поєднують аналіз даних із датчиків (положення, швидкості, кута нахилу) та алгоритмів прогнозування поведінки трактора. Основними компонентами таких систем є: система сприйняття (отримує інформацію з різних сенсорів для оцінки стану навколишнього середовища та трактора); система планування траєкторії (формує оптимальну траєкторію руху з урахуванням заданих параметрів та умов місцевості); система прийняття рішень (обирає стратегії корекції траєкторії на основі аналізу даних та прогнозів) [7, 8].

Для підвищення стійкості руху за допомогою інтелектуальних систем використовуються наступні методи.

Використання адаптивного керування.

Адаптивне керування дозволяє системі підлаштовуватися під зміни умов роботи (наприклад, тип ґрунту, нахил поверхні, погодні умови). Завдяки цьому трактор зберігає стійкість та точність руху по заданій траєкторії. Адаптивні алгоритми можуть налаштовувати швидкість руху, змінювати кути повороту, а також вносити корекції в управління на основі прогнозованих умов.

Адаптивне керування є одним із ключових методів для забезпечення стійкості руху трактора по заданій траєкторії, оскільки цей підхід дозволяє системі автоматично налаштовувати параметри керування відповідно до поточних умов. Це особливо важливо для агротехніки, де зміни рельєфу, структури ґрунту, погодних умов та навіть навантаження на трактор можуть істотно впливати на точність його руху.

Таке керування використовує алгоритми, що можуть динамічно змінювати налаштування керуючих параметрів у відповідь на поточні умови. Такий підхід передбачає наявність двох основних елементів: вимірювальний блок, який оцінює поточний стан системи, зокрема швидкість, відхилення від траєкторії, силу тяги, кут повороту коліс тощо та коригувальний блок (контролер), який адаптує параметри руху, враховуючи отримані дані та попередньо запрограмовані цілі руху.

Існує кілька підходів до адаптивного керування, які можуть бути ефективно застосовані у сільськогосподарській техніці: пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) адаптивне керування; моделі зворотного зв'язку; нейромережеві моделі адаптації; адаптивне керування на основі машинного навчання

Реальні випробування адаптивних систем керування на тракторах у польових умовах підтверджують ефективність цієї технології. Наприклад, на

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». 2024
схилах з нерівним рельєфом трактори з адаптивною системою автоматично зменшували швидкість і коригували кут повороту, що дозволяло зберегти точність заданої траєкторії, тоді як традиційні системи керування показували відхилення до 30%.

Прогностичне керування.

Прогностичне керування включає в себе обчислення майбутньої траєкторії та оцінку можливих відхилень на основі аналізу поточного стану. Такі алгоритми дозволяють заздалегідь виявляти і коригувати відхилення, підтримуючи задану траєкторію руху. Прогнозування дає змогу врахувати інерційні фактори та запобігти можливим зсувам на складних ділянках. Воно є інноваційним підходом до забезпечення точності та стійкості руху сільськогосподарських тракторів. Цей метод ґрунтується на передбаченні майбутнього стану машини та навколишнього середовища, а також на внесенні випереджальних коректив у траєкторію руху для уникнення відхилень. Прогностичні алгоритми особливо корисні в умовах, де відбуваються часті та різкі зміни рельєфу, типу ґрунту або зовнішніх факторів, оскільки дозволяють завчасно адаптувати керування для уникнення потенційних проблем.

Прогностичне керування використовує математичні моделі та алгоритми прогнозування для обчислення майбутньої траєкторії трактора. Основні етапи роботи прогностичної системи включають: збір та аналіз поточних даних — за допомогою датчиків збирається інформація про положення трактора, швидкість, напрямок руху, а також параметри навколишнього середовища, такі як нахил рельєфу та стан ґрунту; прогнозування майбутнього стану — система аналізує поточні дані та обчислює можливі сценарії руху; оцінка відхилень та корекція траєкторії — на основі прогнозу система вносить випереджальні коригування, наприклад, регулює швидкість або змінює кут повороту коліс, щоб зберегти задану траєкторію.

Існує кілька методів прогнозування, які застосовуються в системах прогностичного керування: метод моделі передбачення (Model Predictive Control, MPC), моделювання на основі кінетики та динаміки, методи машинного навчання, гібридні методи прогнозування.

Прогностичне керування дозволяє трактору зберігати стійкість та точність руху навіть на ділянках з нерівним рельєфом або нестабільним ґрунтом, оскільки корекції вносяться до виникнення відхилень.

Завдяки випереджальним корекціям прогностичні алгоритми дозволяють мінімізувати перевитрату пального та зниження зношеності техніки. Трактор працює в оптимальному режимі, уникаючи різких маневрів і перевантажень.

Прогнозуючи майбутні відхилення, система може уникати небезпечних ситуацій, таких як перекидання трактора на схилах, завчасно знижуючи швидкість або коригуючи траєкторію.

Прогностичне керування вже використовується в сучасних системах автономного керування сільськогосподарською технікою. Наприклад, на тракторах, обладнаних GPS/ГЛОНАСС-навігацією та датчиками інерційного положення, прогностичні системи керування дозволяють уникати відхилень від траєкторії на полях з нерівним рельєфом. Практичні дослідження показують, що

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». 2024 прогностичне керування може зменшити відхилення на 20-30%, особливо на ділянках із перехідними умовами (наприклад, переходи від м'якого до твердого ґрунту).

Використання гібридних моделей.

Гібридні моделі об'єднують адаптивні та прогностичні методи, забезпечуючи ще вищу точність керування. Ці моделі дозволяють не тільки адаптуватися до зміни умов, але й запобігати потенційним відхиленням, аналізуючи різні сценарії руху. Вони поєднують різні підходи, такі як адаптивне і прогностичне керування, а також методи машинного навчання та традиційні алгоритми керування. Це дозволяє отримати переваги кожного з цих методів та досягти більш високої стійкості та точності руху трактора на складних ділянках. Гібридні моделі є особливо ефективними для роботи в умовах, коли відбуваються різкі зміни рельєфу, структури ґрунту, кліматичних умов або навантаження на техніку.

Гібридні моделі керування базуються на взаємодії кількох різних підходів: комбінування адаптивного та прогностичного керування, інтеграція машинного навчання з фізичними моделями, адаптація на основі нейронних мереж та ПД-контролерів.

Використання адаптивного керування дозволяє трактору підлаштовуватися під поточні зміни у зовнішніх умовах, тоді як прогностичне керування дає змогу завчасно враховувати ймовірні відхилення. Наприклад, адаптивний компонент коригує параметри руху в режимі реального часу, а прогностичний компонент завчасно обчислює корекції для уникнення майбутніх відхилень.

Машинне навчання дозволяє системі навчатися на попередніх даних про поведінку трактора в різних умовах і постійно покращувати точність прогнозів. Це навчання поєднується з фізичними моделями, які базуються на кінетиці та динаміці руху трактора. Таким чином, система використовує як дані реального часу, так і накопичений досвід для прогнозування майбутніх відхилень та прийняття оптимальних рішень.

Нейронні мережі можуть виявляти складні зв'язки між умовами навколишнього середовища та поведінкою трактора, що недоступно для традиційних методів керування. У поєднанні з ПД-контролерами (пропорційно-інтегрально-диференціальними контролерами), які забезпечують швидкі корекції, нейронні мережі можуть ефективно адаптувати керування до складних ситуацій, таких як швидкі зміни рельєфу або типу ґрунту.

Завдяки комбінуванню адаптивних і прогностичних компонентів, гібридні моделі забезпечують точність руху навіть на ділянках з нестабільним ґрунтом або нерівним рельєфом, зменшуючи відхилення від заданої траєкторії.

Вони можуть швидко підлаштовуватися під зміни умов. Машина може працювати як на рівнинних ділянках з твердим ґрунтом, так і на похилих або м'яких ґрунтах без необхідності перепрограмування або ручного коригування.

На практиці гібридні моделі використовуються на автономних тракторах, які працюють на складних полях з нерівним рельєфом або різними типами ґрунту. Наприклад, у випадках, коли трактор наближається до схилу, гібридна

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». 2024 система спершу прогнозує можливе відхилення, а потім адаптує швидкість та кут повороту, зберігаючи точність і стійкість руху. Крім того, під час роботи на м'якому ґрунті система може завчасно зменшити швидкість або коригувати силу тяги, щоб уникнути буксування чи втрати стійкості.

Дослідження показують, що гібридні моделі керування можуть знизити середнє відхилення від заданої траєкторії на 25-40%, що значно підвищує ефективність сільськогосподарських робіт і зменшує витрати на паливо та технічне обслуговування.

Висновки

Впровадження інтелектуальних систем керування є перспективним напрямком для підвищення стійкості руху трактора по заданій траєкторії. Адаптивні та прогностичні алгоритми значно підвищують точність виконання сільськогосподарських операцій, забезпечують стійкість руху в різних умовах та сприяють оптимізації ресурсів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів для ще більш точного прогнозування та управління на складних ділянках.

Список використаних джерел

1. Макаренко М. Г., Пиріжок В. І. Використання штучного інтелекту у вбудованих системах сільськогосподарських тракторів. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. - Харків : ДБТУ, 2024 С. 192.
2. Макаренко М. Г., Пиріжок В. І, Кривоніс С. В. Використання штучного інтелекту при дослідженні маневрових якостей тракторів. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoТРАК-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. С. 86-89.
3. Макаренко М. Г., Бондаренко В. О. Використання інтелектуальних систем керування стійкістю та тяговим контролем автомобіля. // Матеріали XX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті" 04-05. 04. 2024. - Харків : ДБТУ, 2024 С. 154.
4. Макаренко М. Г., Шевченко І. О. . Роль штучного інтелекту та машинного навчання у підвищенні точності та надійності автомобільних систем. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoТРАК-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. С. 93-96.
5. Макаренко М. Г., Бондаренко К. А., Використання штучного інтелекту і доповненої реальності при дослідженні маневрових якостей автомобілів. Бондаренко В. О. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoТРАК-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. С. 90-92.
6. Макаренко М.Г., Хейло В.О. Використання штучного інтелекту для вбудованих систем діагностики автомобілів. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoТРАК-2024». – Київ: НУБіП України, 2024.С.82 -85.
7. Петров, І.В., Кравченко, А. І. Теоретичні основи автоматизованого керування технікою на базі адаптивних алгоритмів. Харків: Вища школа, 2020.
8. Davis, J. Intelligent Control Systems for Agricultural Machinery: Current Trends and Future Prospects. Agricultural Systems, 2022.