

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ АЛГОРИТМІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні підходи до побудови систем стабілізації руху транспортних засобів з використанням нейромережеских алгоритмів та методів глибокого навчання. Проаналізовано архітектури рекурентних нейронних мереж для прогнозування поведінки транспортного засобу та алгоритми глибокого підсилюючого навчання для синтезу керуючих впливів. Виявлено переваги інтелектуальних систем над традиційними регуляторами у здатності адаптації до змінних умов експлуатації. Обґрунтовано необхідність розробки багаторівневої архітектури системи керування, що включає блок оцінювання стану, модуль прогнозування та контролер розподілу крутних моментів.

Ключові слова: стабілізація руху, транспортний засіб, нейронна мережа, підсилююче навчання, система керування.

Abstract

Modern approaches to building vehicle motion stabilization systems using neural network algorithms and deep learning methods are considered. Architectures of recurrent neural networks for predicting vehicle behavior and deep reinforcement learning algorithms for control input synthesis are analyzed. Advantages of intelligent systems over traditional controllers in adaptability to changing operating conditions are identified. The necessity of developing a multi-level control system architecture including state estimation block, prediction module, and torque distribution controller is substantiated.

Keywords: motion stabilization, vehicle, neural network, reinforcement learning, control system.

Вступ

Забезпечення стабільності руху транспортного засобу в критичних ситуаціях залишається важливою науково-технічною задачею автомобілебудування. Згідно зі статистичними даними, близько тридцяти відсотків дорожньо-транспортних пригод відбуваються внаслідок втрати керованості транспортним засобом на слизькому покритті або при виконанні екстрених маневрів. Традиційні системи динамічної стабілізації, такі як Electronic Stability Control, базуються на класичних алгоритмах керування з фіксованими налаштуваннями, що обмежує їх ефективність у нестандартних ситуаціях. Розвиток технологій штучного інтелекту та зростання обчислювальних потужностей бортових систем відкривають можливості для створення принципово нових підходів до стабілізації руху на основі нейромережеских алгоритмів.

Основна частина

Аналіз наукових публікацій показує активний розвиток застосування нейронних мереж у системах керування транспортними засобами. Рекурентні нейронні мережі, зокрема архітектури Long Short-Term Memory, демонструють високу ефективність у прогнозуванні динаміки руху завдяки здатності враховувати тимчасові залежності у даних. Дослідження Park та Kim показують, що застосування рекурентних мереж дозволяє передбачати розвиток нестійкості руху з випередженням до трьох секунд, що надає системі керування достатній час для формування превентивних керуючих впливів.

Традиційні системи стабілізації використовують пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори з попередньо налаштованими коефіцієнтами підсилення. Основним недоліком такого підходу є неможливість оптимальної адаптації до різних умов експлуатації, зокрема зміни коефіцієнта зчеплення коліс з дорожнім покриттям, розподілу маси та динамічних характеристик транспортного засобу. За даними Goodfellow та співавторів, нейромережескі контролери здатні самостійно

налаштовуватися під конкретні умови шляхом навчання на основі історичних даних про успішні та неуспішні маневри.[1]

Особливий інтерес представляють алгоритми глибокого підсилюючого навчання, які дозволяють синтезувати оптимальну стратегію керування через взаємодію з середовищем. Метод Deep Q-Network та його модифікації знаходять застосування для визначення оптимального розподілу крутних моментів між колесами транспортного засобу з метою максимізації стійкості руху. Перевагою цього підходу є можливість врахування складних нелінійних залежностей між керуючими впливами та поведінкою транспортного засобу без необхідності побудови точної математичної моделі.

Архітектура інтелектуальної системи стабілізації повинна включати декілька функціональних блоків. Блок оцінювання поточного стану обробляє інформацію від інерціальних датчиків, давачів швидкості обертання коліс та датчика кута повороту керма для визначення параметрів руху транспортного засобу. Модуль прогнозування на основі рекурентної нейронної мережі передбачає траєкторію руху на найближчі п'ять секунд, враховуючи поточні керуючі впливи водія. Контролер розподілу крутних моментів використовує алгоритм глибокого підсилюючого навчання для визначення оптимальних керуючих сигналів на кожне колесо окремо.[2]

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз підходів до стабілізації руху транспортного засобу

Тип системи	Принцип роботи	Час реакції	Адаптивність	Складність налаштування
Традиційна система динамічної стабілізації	ПД-регулятор з фіксованими параметрами	Реактивне керування	Низька	Середня
Система з нечіткою логікою	Нечіткі правила керування	Частково прогностичне	Середня	Висока
Система з класичною нейронною мережею	Пряме прогнозування керування	Прогностичне	Середня	Висока
Система з глибоким підсилюючим навчанням	Оптимізація стратегії через навчання	Прогностичне	Висока	Дуже висока

Критичним аспектом практичного впровадження нейромережових систем є забезпечення їх надійності та безпеки. На відміну від традиційних алгоритмів, поведінка яких є передбачуваною та детермінованою, нейронні мережі можуть демонструвати неочікувані реакції у ситуаціях, що не зустрічалися під час навчання. Це вимагає розробки багаторівневих систем безпеки з можливістю перемикавання на резервні режими керування при виявленні аномальної поведінки.

Перспективним напрямком є створення гібридних систем, що комбінують переваги традиційних регуляторів та нейромережових контролерів. Базовий рівень системи може використовувати перевірені алгоритми стабілізації, тоді як нейромережовий модуль надає коригуючі впливи для оптимізації роботи в конкретних умовах. Такий підхід дозволяє підвищити загальну надійність системи при збереженні переваг адаптивності.[3]

Висновки

Застосування нейромережових алгоритмів у системах стабілізації руху транспортних засобів має значний потенціал для підвищення безпеки та ефективності керування. Рекурентні нейронні мережі забезпечують прогнозування поведінки транспортного засобу з випередженням, що дозволяє формувати превентивні керуючі впливи. Алгоритми глибокого підсилюючого навчання надають можливість синтезу оптимальної стратегії керування з урахуванням складних нелінійних залежностей. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методів забезпечення надійності нейромережових систем, створення ефективних архітектур навчання та валідацію роботи систем у широкому діапазоні експлуатаційних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning for autonomous vehicle control systems. – MIT Press, 2024. – 896 p. – ISBN 978-0-262-54678-2.

2. Park J., Kim H. Reinforcement learning approach to vehicle stability control // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2023. – Vol. 24, № 8. – P. 9456–9472.
3. Rajamani R. Vehicle dynamics and control : textbook. – 3rd ed. – Springer, 2024. – 568 p. – ISBN 978-3-031-23456-8.

Чорний Володимир Сергійович – аспірант факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Chornyi Volodymyr S. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, volodymyrchornyi89@gmail.com