

基于人工智能下智能网联线控底盘系统开发研究现状与展望

王林 张长磊* 彭焌菱

(重庆电子科技职业大学, 重庆 401331)

摘要: 随着汽车产业和信息技术的深度融合, 智能网联汽车已经成为了行业发展的大趋势, 线控底盘系统作为智能网联汽车的重要组成部分, 其技术开发备受关注。线控底盘系统开发可通过线控驱动、线控制动、线控转向以及底盘域控制核心关键技术之间的耦合机理进行分析, 应用人工智能技术进行环境感知、决策规划及多源信息融合, 旨在实现底盘平台的高动态响应与协同控制能力, 使其在复杂场景下具备良好的自适应性。本文探讨了人工智能技术在智能网联线控底盘系统开发中的应用, 梳理关键技术路线并提出新型开发方案。致力于为智能网联底盘技术的工程化落地提供参考方案。

关键词: 人工智能; 智能网联汽车; 线控底盘; 底盘控制系统; 自动驾驶

1 引言

汽车产业正经历以电动化、智能化、网联化为核心的深刻变革, 智能网联汽车作为未来交通的重要形态, 对车辆基础控制技术提出了更高要求^[1]。传统底盘控制系统依赖机械或液压传递控制信号, 响应速度与精度有限, 难以满足高阶自动驾驶对实时性与可靠性的严苛需求。线控底盘通过电子信号取代机械连接, 实现对驱动、制动、转向等执行器的精确电子控制, 为智能网联汽车的发展奠定了坚实基础。同时, 人工智能技术在感知决策与多源信息融合方面的突破, 为线控底盘系统赋予更强的自适应与协同控制能力, 推动车辆向更高阶自动化层级演进。当前, 国内外车企与科技公司正加速智能网联线控底盘的研发进程, 从底层硬件集成向软硬件一体化协同开发转变。尽管在系统耦合机制优化、复杂场景动态响应与控制策略智能化方面已取得初步成果, 但在多系统协同、故障预测与功能安全等方面仍需进一步引入人工智能技术, 实现系统全过程闭环智能发展。基于此, 本文系统阐述智能网联线控底盘技术架构, 结合人工智能方法提出一体化开发路径, 并通过实车验证其可行性, 以期为行业技术落地提供参考。

2 智能网联线控底盘系统关键技术分析

2.1 人工智能在底盘控制中的核心算法与应用

在智能网联线控底盘系统开发中, 人工智能技术显著提升了控制精度、响应速度与环境适应性^[2]。作为自动驾驶的执行末端, 线控底盘需实时处理感知层传入的环境信息, 并生成相应的车辆控制指令。人工智能算法通过模拟人脑认知与决策机制, 赋予底盘系统更高智能水平。其中, 深度学习与强化学习是两类核心算法。深度学习模型能够从海量行车数据中提取特征, 识别复杂行驶场景与车辆状态模式。例如, 采用卷积神经网络(CNN)处理摄像

作者简介: 王林(2003-), 男, 本科, 研究方向为智能网联汽车工程技术。

彭焌菱(2004-), 男, 本科, 研究方向为智能网联汽车工程技术。

通讯作者: 张长磊(1993-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为思想政治教育、学生管理。

头与激光雷达的感知数据,可准确识别车道线、障碍物与交通标志等信息,为控制决策提供依据^[3]。本文所采用的CNN结构包含多个卷积层、池化层与全连接层,通过端到端训练优化特征提取过程,提升感知精度。强化学习则通过试错与奖励机制,使系统自主学习最优控制参数。在线控底盘系统中,强化学习用于优化制动、转向与驱动的参数配置,使其适应多样化路况。具体而言,奖励函数设计综合考虑车辆稳定性、跟踪精度与能耗指标,通过Q-learning或深度确定性策略梯度(DDPG)算法实现参数在线调整,提升系统整体性能^[4]。人工智能技术在线控制动系统中的应用尤为突出。传统制动系统依赖预设逻辑,难以适应动态行驶环境。基于神经网络的智能制动控制能够根据实时路况、车辆载荷与轮胎附着条件,在线调整制动力分配。在低附着路面或紧急避障场景下,系统通过多源信息融合实现自适应减速,显著提升行车安全性。多系统协同控制是人工智能赋能底盘开发的重要方向。底盘域控制器集成驱动、制动与转向等子系统,采用多智能体协同算法实现整车协调控制。例如,在紧急变道过程中,系统同步调整转向角与制动力,生成合适的横摆力矩,确保车身稳定性。该方法突破单一系统功能极限,通过协同优化提升整车性能^[5,6]。

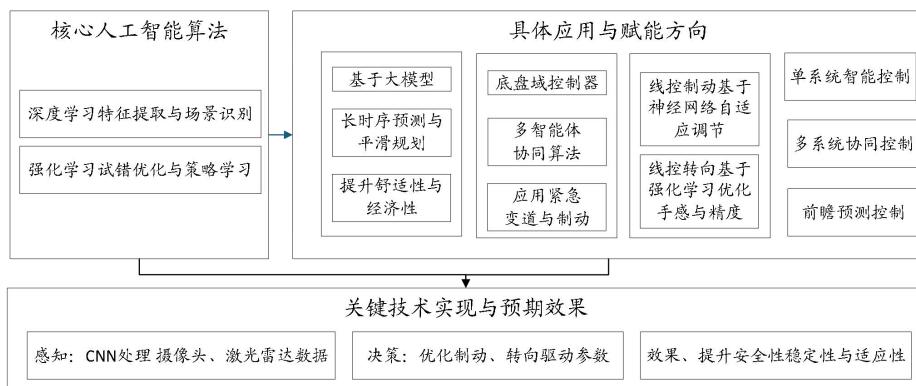


图1 算法、应用方向与预期效果示意图

人工智能算法正从单一功能控制向整车综合优化发展,提升底盘系统在复杂工况下的实时性与自适应能力(图1)。随着计算平台升级与算法持续优化,人工智能将在线控底盘系统中发挥更重要作用,支撑自动驾驶级别逐步提升。

2.2 线控底盘系统架构与通信协议设计

线控底盘系统架构遵循模块化与集成化原则,实现驱动、制动、转向等核心功能单元的协同控制。系统采用分层架构,包括硬件执行层、控制决策层与整车交互层。硬件执行层由电机、传感器与执行器等物理部件构成,负责具体动作实施;控制决策层以底盘域控制器为核心,对各子系统指令进行统筹处理与优化分配;整车交互层实现与自动驾驶感知决策系统及车联网平台的数据交换,确保指令准确传达与状态实时反馈。该分层设计提升系统可扩展性与维护性,为功能升级预留空间。通信协议方面,控制器局域网(CAN)总线仍是线控底盘系统内部数据交换的主流技术。CAN协议具有高可靠性、实时性强与抗干扰能力突出等特点,满足底盘系统对数据传输延迟与稳定性的严苛要求。各子系统电子控制单元(ECU)通过CAN总线互联,实现制动压力、转向角度与驱动扭矩等关键参数的快速共享。随着功能复杂度提升,部分高端平台引入FlexRay或以太网等高速通信协议,支持更大带宽数据传输,为多传感器融合与高阶决策算法部署提供基础^[7]。底盘域控制器作为系统架构核心,负责信息集成与协同控制策略实施^[8]。它实时采集各子系统状态数据,根据上层决策模块的轨迹规划指令,通过内部计算得到驱动、制动力矩与转向角度的最优组合。在异构网络共存环

境下,域控制器实现CAN、LIN与车载以太网等协议间的数据转换与路由功能,确保信息流畅交互。面向智能网联应用场景,系统架构需具备与外界信息交换能力。线控底盘通过车载通信单元接收交通基础设施、周边车辆与云控平台数据,提前判断道路状况并调整控制参数。例如,在临近路口时根据红绿灯信息进行预减速,提升行车效率与安全性。合理系统架构与高效通信协议是智能网联线控底盘稳定工作的前提。通过层次化架构与标准化接口实现各部分有机结合,为高阶人工智能决策层集成奠定基础。随着车辆电子电气架构集成化发展,未来线控底盘通信将向高带宽、低时延、强安全方向演进,在支持高阶自动驾驶功能的同时保障网络安全^[9]。

3 智能网联线控底盘系统集成开发方案

3.1 硬件平台设计

智能网联线控底盘系统集成开发基于模块化设计理念,将硬件平台、控制软件与通信网络融为一体,构建整体协同开发体系。开发过程涵盖需求分析、架构设计与功能验证全流程,确保系统兼具高性能控制、良好可扩展性与可靠性。首先明确系统功能需求,如自适应巡航、自动紧急制动与车道保持等,对应不同自动驾驶级别,并分解至各子系统实现。硬件平台以高速纯电动汽车线控底盘为基础,驱动部分采用高功率密度电机与电子差速器组合,实现车轮扭矩精准独立控制;制动部分采用电子液压或电磁制动方式,省略真空助力器,通过电机直接驱动制动主缸,响应速度显著提升;转向部分使用线控转向系统,将方向盘角度转换为电信号,经控制单元计算后驱动转向执行电机,提升系统可维护性与调试便利性。各子系统通过高可靠性连接件安装于实验台架或实车,形成完整执行机构阵列。平台预留多个外设接口,支持激光雷达、摄像头与V2X通信模块等感知与网联设备扩展。

3.2 控制软件设计

控制软件采用分层架构,下层为硬件驱动与基础服务,中层为各子系统控制算法,上层为协同决策与整车管理。底盘域控制器作为软件运行载体,集成多路CAN通信总线,实时采集传感器数据、执行控制逻辑并输出驱动信号^[10]。控制算法聚焦线控制动与线控转向协同,在车辆转弯过程中根据车速、横向加速度与路面附着系数等因素,优化纵向力与制动力分配,确保过弯稳定性。软件开发环境采用MATLAB/Simulink等建模仿真工具,快速构建控制模型并进行仿真验证与代码自动生成,显著提升开发效率^[11]。人工智能算法嵌入中层控制模块,通过深度学习模型实现环境感知特征提取,强化学习算法在线优化控制参数,提升系统自适应能力。

3.3 通信网络与集成测试

通信网络设计以CAN总线为基础,实现各ECU节点互联,并根据控制实时性需求划分报文优先级。高安全性功能(如紧急制动)通过专用高速CAN通道传输指令,确保低延迟与高确定性;域控制器与上层自动驾驶决策系统通过以太网或CAN FD连接,传输路径规划数据与控制指令。集成测试在硬件在环(HIL)仿真平台进行,模拟传感器输入与车辆动力学响应,验证控制逻辑在常见场景与边界条件下的正确性。测试流程包括单系统功能验证、多系统协同测试与故障注入实验。通过上述测试,确保系统在部分元件故障时仍能维持最低安全水平。该集成方案支持参数在线标定与控制算法二次开发,研究人员可通过上位机软件调整制动压力曲线与转向传动比等参数,分析其对车辆性能的影响。结合虚拟仿真,降低试错成本与开发风险,为自动驾驶技术研究提供可靠实验平台,促进人才培养与科研创新。

4 结论与展望

本文以人工智能技术在智能网联线控底盘系统开发中的应用为主线,完成了系统的分析、实现和实车验证,研究结果表明,基于人工智能的协同控制可提高线控底盘在复杂工况下的动态响应速度和操控稳定性,线控驱动、线控制动、线控转向等子系统可在底盘域控制器指挥下,较好地达到各系统的协同性和自适应性,对于低附着路面和紧急避障场景,可通过多源信息融合,实时调整控制参数以改善车辆的行车安全性能与场景匹配度。同时,本文实车试验验证了该开发方案能够满足在实车上实施要求,且能够实现工程化落地应用。

从目前情况来看,智能网联线控底盘未来一段时间依旧有诸多值得我们去挑战和发展的方向,其技术上需更加注重冗余设计、保证功能安全、加强对极端工况下可靠性的要求;在未来也将会进一步集成更多的人工智能算法,在此基础上采用基于大模型以及连续学习的预测控制方法在某些部分能够进一步提升系统的决策智能性;当然还会有更多跨平台的数据共享和模型泛化等都是未来的需要重点探索的方向,例如可以联合上下游企业打造行业级测试数据集以及标准仿真环境来快速提升控制算法的研发速度及验证的速度。应用生态方面,在线控底盘模块化、标准化的基础上,“滑板底盘”等新平台架构可以快速应用于多种多样的专用车辆上,有助于30余种功能的开发和执行,可以让不同行业的终端客户以更加灵活的方式采购车辆;借助于5G-V2X、高精度定位等网联化技术,可使底盘提前感知交通环境的变化,采取超前的能量管理和平顺驾驶,以实现绿色出行。此外,依托产教融合继续完善面向教学、科研的线控底盘实训平台,加强面向各行业需求的基于线控底盘的“滑板底盘”平台的建设和完善工作,使得相关行业的专业人才培养能够得到进一步提升。随着国家政策和技术手段的不断发展进步,智能网联线控底盘会深入到更多领域,在城市交通、工业物流、特种作业等多个领域发挥更大的作用,推动着我国汽车产业的升级与发展。

参考文献:

- [1] 胡笳,王浩然,冯永威,等.基于混合域优化控制的智能网联车辆运动规划模型[J].中国公路学报,2022,35(03):43-54.
- [2] 黄飞,孙宪猛,李毅.智能汽车线控底盘技术应用研究[J].汽车测试报告,2024,(23):17-19.
- [3] 邱钰,刘亚菲,李娟.数学算法在汽车自动驾驶系统中的应用[J].时代汽车,2024,(09):29-31.
- [4] Mnih V, Kavukcuoglu K, Silver D, et al. Human-level control through deep reinforcement learning[J]. nature, 2015, 518(7540): 529-533.
- [5] Hang P, Chen X, Luo F, et al. A Review on Cooperative Control of Autonomous Vehicles for Connected and Automated Driving[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2023, 188: 110008.
- [6] 王振宇,韩承敏,冯向波,等.拖挂式房车横向稳定性控制[J].重庆理工大学学报(自然科学),2024,38(12):35-42.
- [7] Toghuj W, Turab N. Automotive Ethernet architecture and security: challenges and technologies[J]. International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), 2023, 13(5).
- [8] 李亮,王翔宇,程硕,等.汽车底盘线控与动力学域控制技术[J].汽车安全与节能学报,2020,11(02):143-160.
- [9] Haghighatkhan A, BaniJamali A, Pakanen O P, et al. Automotive software engineering: A systematic mapping study[J]. Journal of Systems and Software, 2017, 128: 25-55.
- [10] Paden B, Čáp M, Yong S Z, et al. A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles[J]. IEEE Transactions on intelligent vehicles, 2016, 1(1): 33-55.
- [11] Zhu G, Jie H, Hong W. Nonlinear model predictive path tracking control for autonomous vehicles based on orthogonal collocation method[J]. International Journal of Control, Automation and

Research status and prospect of intelligent networked line control chassis system development based on artificial intelligence

WANG Lin, ZHANG Changlei*, PENG Junling

(Chongqing University of Electronic Science and Technology, Chongqing, 401331, China)

Abstract: With the deep integration of the automotive industry and information technology, intelligent connected vehicles have become a major trend in industry development. As a crucial component of smart connected vehicles, the development of wire-controlled chassis systems has garnered significant attention. The research focuses on analyzing the coupling mechanisms between key technologies such as wire-controlled drive, wire-controlled braking, wire-controlled steering, and chassis domain control. By applying artificial intelligence (AI) for environmental perception, decision-making planning, and multi-source information fusion, this approach aims to achieve high dynamic response and collaborative control capabilities in chassis platforms, enabling excellent adaptability in complex scenarios. This paper explores the application of AI technology in the development of intelligent connected wire-controlled chassis systems, outlines key technical pathways, and proposes innovative development solutions. The study aims to provide reference solutions for the engineering implementation of intelligent connected chassis technologies.

Keywords: artificial intelligence; intelligent connected vehicle; wire-controlled chassis; chassis control system; autonomous driving