

汽车电动助力转向系统的控制策略

张炜承

西京学院机械工程学院 陕西西安 710123

摘要: 电动助力转向 (EPS) 系统作为现代汽车工程领域的关键技术之一, 在提升汽车驾驶性能、安全性与舒适性方面发挥着不可替代的作用。它通过在驾驶过程中为方向盘提供助力, 使得驾驶者能够更加轻松、精确地控制车辆行驶方向。随着汽车智能化和自动驾驶技术的快速发展, 对EPS系统的控制性能提出了更为严格和多样化的要求。本文综述了当前国内外汽车转向系统控制方法的研究热点, 包括模糊逻辑控制、PID控制、神经网络控制和机器学习控制等。这些控制方法各有优势, 能够适用于不同工况下的转向控制需求。通过对这些方法的探讨, 对比优劣, 为转向器的控制方法提供新思路和新方法, 也为未来转向器的智能化发展寻求新的出路。

关键词: 深度学习; 汽车EPS转向系统; 控制策略; 技术综述

前言

汽车EPS转向助力系统能控制行驶方向, 提供转向助力, 对整车操纵稳定性有重要作用。随着新能源汽车和无人驾驶技术的日益发展, 对电动助力转向系统的辅助驾驶技术提出更高的要求^[1]。汽车转向系统主要解决汽车在转向时“轻”与“灵”的矛盾, 维持汽车转弯时的平稳性和安全性, 使汽车在行驶过程中能够根据路况进行自适应调整, 弱化路面冲击, 与车载主动安全系统相互配合保持汽车的稳定驾驶以及面对突发状态时保持车身的平衡性, 并提供足够的转向动力以减轻驾驶员操作负担。车辆转向系统技术是汽车安全行驶的重要保障环节, 能够满足人们对汽车行驶过程中转向平稳性和安全性的需求, 是现代化汽车线型底盘控制的重要组成部分^[2]。转向系统能否高效、精准地发挥作用, 控制方法是否合理就显得及其重要, 这也是汽车转向系统领域的研究热点。随着交叉学科的不断发 展, 在转向系统的控制领域也显现出了各种新方法, 有着各自独特的优势和挑战, 值得深入探讨和研究。

一、国内发展现状

近年来, 国内对转向系统控制方法的研究呈现出蓬勃发展的态势, 各种创新性的控制方法层出不穷。这些新兴方法有的着眼于对原有算法处理模式的深度优化, 力求在保持算法稳定性的基础上进一步提升其性能; 有的则直接引入新型控制元件, 通过其独特的调节机制来增强控制的稳定性; 还有的则巧妙融合人工智能技术,

利用机器学习、深度学习等前沿技术对控制系统进行智能化处理, 以期实现更加精准、高效的控制效果。

陈无畏^[3]研究团队致力于解决EPS系统中普遍存在的动态行为不确定性问题, 他们创新性地采用了自适应LQG控制策略。通过对模型参数的实时在线辨识, 实现了系统的精准自适应LQG控制。实验结果表明, 自适应LQG控制不仅具备出色的抗干扰能力, 还能显著提升汽车的转向性能。

陈迎燕^[4]团队基于关于传统的PID控制, 提出了模糊PID控制策略, 即使用误差 e 和误差变化率 ec 作为模糊控制器的输入变量, 模糊推理出参数, 有效地提高了被控对象的动、静态性能。能及时地响应方向盘的操作, 并且转向跟随性表现优异, 操控上兼具灵活性与稳定性。

夏鼎宽^[5]团队利用超前滞后校正器, 对EPS系统的超前滞后参数进行正向开发, 使开环传递函数的幅值裕度、相角裕度和截止频率较校正前有明显改善, 大幅提高EPS系统稳定性。

杨友胜^[6]团队利用双电机冗余电动助力转向, 从硬件上实现冗余, 避免任意单电机发生故障时导致转向系统的失效, 不仅满足转向系统对于轻便型、助力跟随性的要求, 还减轻单个助力电机的负载提高电机的使用寿命, 极大提高系统的可靠性和安全性。

张萍萍^[7]所提出的基于深度强化学习理论和PID控制算法, 建立分层纵向控制系统, 提高车辆安全行驶能力, 其所设计的融合DDPG和PID的纵向控制方法可有效地控制车辆的行车速度和行车间距, 满足自动驾驶汽车

安全行驶的需求。

何伟丽^[8]团队考虑汽车电子助力转向系统性能受外部扰动和机械传动摩力影响,提出PID控制算法、传统滑模控制算法和新型滑模控制算法3种方法跟踪阶跃指令和正弦转矩指令的新型滑模控制算法,并以dsPIC30F6012作为微控制器,实验结果表面其动态跟踪精度较PID和传统滑模控制方法分别提升71.7%和45.8%。

苗景琦^[9]研究团队专注于PID控制算法在前轮转角控制中的应用,并创造性地引入了灰狼算法(GWO)对PID参数进行优化。通过双移线实验工况的仿真验证,结果显示该转向系统展现出优异的转向性能。GWO-PID控制算法显著加速了汽车转向关键指标参数达到稳态值的过程,从而有效提升了转向稳定性和行车安全性。

王陈宁^[10]研究团队深入探究了EPS系统的助力特性与目标电流,在此基础上创新性地提出了双模糊控制算法。他们精心设计了目标电流模糊控制器与模糊PID控制器,该双模糊控制算法能够实时在线调整控制参数,展现出极强的适应性,确保了卓越的跟踪性能。

杨东德^[11]团队对汽车线控转向系统控制算法进行了研究,改进滑膜控制策略,与PID线控转向系统相比,横摆角速度和质心侧偏角达稳态值所用时间减少了4.6%和17.5%,具有更好的转角跟随特性,证明设计的滑模控制器能够提高线控转向的稳定性和准确性。

寇发荣^[12]团队将影响因素与横摆角速度增益之间的数据进行预处理,构建神经网络数据集,设计蛇算法优化,由此动态获取变横摆角速度增益,通过仿真变增益传动比不仅可以提高车辆在高附着系数路面上的转向灵敏度,也改善了在低附着系数路面上行驶的安全性与操纵性。

二、国外发展现状

相较于国内,国外在汽车EPS转向系统控制领域的研究更侧重于基于新型EPS转向系统控制的深度优化,他们不断探索并应用前沿技术以提升系统的性能与稳定性。同时,国外学者还广泛利用人工智能和深度学习的方法对转向系统进行精准控制和高效训练,这些技术能够模拟并学习人类驾驶习惯,从而使EPS转向系统更加智能化、人性化,为提升驾驶体验和安全性提供了有力支持。

Choi^[13]团队通过线控转向(SbW)系统这以新型控制系统的研究,提出一种基于速度控制的导纳模型的控

制方法来生成转向感觉,并通过方向盘扭矩与方向盘角度(T-A)曲线来分析转向感觉特性进行评估,结果表明:该系统能够为车辆提供令人满意的转向感觉,该结果可自动驾驶中的先进转向系统设计提中。

Krishna^[14]团队提出了一种基于自适应神经模糊推理系统(ANFIS)的转向控制器,用来减少不同操控和路面条件下瞬态误差和外部干扰对横摆角速度和侧滑角的影响,提高车辆的横向稳定性。并用扩展卡尔曼滤波器对其进行仿真分析,其实验结果与未控制模型和模糊逻辑模型相比,能够通过校正转向角以保持车辆最优轨迹,具有更优的瞬态横摆跟踪特性。

Hartono^[15]团队提出了两种方法:一种是基于ANN的辨识器,利用反向传播(BP)算法学习系统的非线性动力学;另一种是基于ANN的控制器,采用(LM)算法来提高控制性能。研究表明,基于ANN的BP算法在EPS系统辨识方面表现出色,对EPS系统动力学的预测准确率超过99.6%,基于LM算法训练的ANN控制器旨在实现更快的响应速度和更精确的参考轨迹跟踪。说明采用ANN方法优化自动驾驶车辆EPS性能的可行性。

Glida^[16]团队通过结合滑模(SM)方法和广义回归神经网络(GRNN),提出一种新的基于局部测量的自适应无模型控制结构,来解决转向执行器故障上的容错率。通过数值模拟和实验测试,该策略不仅提高了系统效率,还降低了计算系统中的能耗和处理开销。

Nguye^[17]团队提出了一种新的模糊反步控制(FBSC)组合,该方法的模糊输入信号是系统误差及其导数。同时,模糊输出与参考信号合成,成为反步控制技术的新参考信号,通过仿真表明模糊反步控制算法能够在不同的转向条件下保持稳定性,并提高系统的适应性。

结论

汽车EPS转向系统作为现代汽车工程核心技术,对驾驶性能、安全和舒适至关重要。国内外在该领域研究不断深入,尤其是人工智能算法与传统控制融合成果显著。这一趋势不仅为EPS系统发展指明方向,也推动汽车智能化和自动驾驶技术进步。未来,EPS系统将凭借持续的技术创新变得更加智能高效,为汽车行业发展注入新动力,给人们出行带来更多便利与安全保障。

参考文献

[1]李琤.电动助力转向系统Carsim-Simulink联合

- 仿真控制研究[J].机械设计与制造, 2024, (04): 214-219+224.
- [2]李升波, 张航.用于自动驾驶汽车的深度学习技术介绍[J].建设科技, 2022, (01): 37-46.
- [3]陈无畏, 王妍, 王启瑞, 等.汽车电动助力转向系统的自适应LQG控制[J].机械工程学报, 2005, (12): 167-172.
- [4]陈迎燕, 易琨, 张小刚.电动助力转向系统控制策略的设计与仿真[J].上海汽车, 2023, (12): 18-24.
- [5]夏鼎宽, 邵雄, 李根, 等.基于超前滞后校正器的汽车电动助力转向系统稳定性研究[J].汽车工程师, 2024, (09): 38-43+48.
- [6]杨友胜, 张萌, 战凯.乘用车双电机冗余电动助力转向系统研究[J].机械设计与制造, 2024, (08): 5-10.
- [7]张萍萍.基于深度强化学习和PID算法的自动驾驶汽车纵向控制研究[D].北京交通大学, 2023.
- [8]何伟丽, 赵伟.基于滑模控制的汽车电子助力转向系统性能研究[J].电子器件, 2021, 44(04): 1000-1004.
- [9]苗景琦, 肖平, 桂飞.GWO-PID控制算法的汽车线控转向系统研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版), 2023, 41(04): 71-75.
- [10]王陈宁, 陈世军, 查长礼, 等.汽车电动助力转向系统双模糊控制策略研究[J].安庆师范大学学报(自然科学版), 2022, 28(04): 29-36.
- [11]杨东德, 肖平, 桂飞.汽车线控转向系统控制研究[J].重庆科技学院学报(自然科学版), 2023, 25(05): 94-100.
- [12]寇发荣, 方博, 张新乾, 等.汽车线控转向系统自适应变增益传动比设计[J].郑州大学学报(工学版), 2024, 45(05): 8-15+29.
- [13]Choi H, Choi S. Design of the Steering Feedback Controller of a Steer-by-Wire System Using Admittance Model[J]. International Journal of Automotive Technology, 2024, 25(3): 565-574.
- [14]Krishna S, Ashok S D, Narayanan S. ANFIS-based active front steering system for reducing yaw disturbance of a vehicle using steer-by-wire system[J]. International Journal of Dynamics and Control, 2024, 12(4): 982-991.
- [15]Hartono R, Cha H R, Shin K J. Design of Electric Power Steering System Identification and Control for Autonomous Vehicles Based on Artificial Neural Network[J]. IEEE Access, 2024,10(12):108460 - 108471.
- [16]Glida H E, Sentouh C, Chelihi A, et al. Event-triggered adaptive fault-tolerant control based on sliding mode/neural network for lane keeping assistance systems in steer-by-wire vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2024,13(10):119515.
- [17]Nguyen D N, Nguyen T A. Fuzzy backstepping control to enhance electric power steering system performance[J]. IEEE Access, 2024, 46(11): 88681 - 88695.