

智能汽车自动驾驶技术的发展及控制方法

胡长江¹ 贾忠营²

1. 航天科技控股集团股份有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000

2. 杭州长川科技股份有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000

摘要: 智能汽车自动驾驶控制方法研究旨在探索如何通过感知、决策和控制系统,使汽车在无需人为操作的情况下自主行驶。本文主要介绍了自动驾驶的发展历程并分析了经典与现代控制理论在自动驾驶中的应用,探讨了路径规划与决策、横向与纵向控制、环境感知与信息融合等关键策略。此外,还总结了安全与冗余控制策略、网联技术与协同控制策略以及人机共驾与交互控制策略等,以期为相关领域人员提供参考。

关键词: 智能汽车; 自动驾驶; 控制方法

引言

随着汽车科技的日新月异,智能汽车自动驾驶成为了研究的热点。其核心问题之一是如何进行有效控制。本文介绍了自动驾驶的发展历程,重点对智能汽车自动驾驶的控制方法进行分析。首先,叙述了自动驾驶的控制需求,包括稳定性、安全性和效率等。然后探讨了经典与现代控制理论在自动驾驶中的应用和挑战。最后,展望未来的发展趋势,以期为自动驾驶的研究与应用提供参考。

1 智能汽车自动驾驶系统概述

1.1 自动驾驶技术的发展历程

自动驾驶系统,也被称为无人驾驶系统,是一种无需人类驾驶员操作即可自主行驶的系统。自动驾驶技术的发展主要经历了以下几个阶段。

(1) 初期探索与实验阶段(20世纪末-2010): 自动驾驶技术最早的探索可追溯到20世纪末。1995年,美国卡内基梅隆大学的“Navlab”项目使用神经网络来控制车的方向,由人控制油门和刹车实现了车辆的半自动驾驶。在2000年,智能驾驶引入了“自适应巡航控制系统(ACC)”,2008年智能驾驶引入了“泊车辅助系统”。2010年,使用高精三维地图模型控制的谷歌的第一款无人混电车诞生。

(2) 传感器和算法的突破(2010-2020): 随着传感器和计算机技术的不断进步,自动驾驶技术取得了重要突破。激光雷达、摄像头、超声波传感器等成为自动驾驶车辆的“眼睛”,实时获取车辆周围环境的信息。同时,机器学习和人工智能算法的发展,使得车辆能够更准确地理解和应对复杂交通环境。2012年引入的“车道保持辅助系统”,是从摄像机的影像中监测到车线,然后当到达两侧车线的距离缩短时,自动地往相反的方向

向给方向盘阻力,从而引起驾驶员的注意。2015年10月,特斯拉发布半自动驾驶系统Autopilot, Autopilot成为第一个投入商用的自动驾驶技术。2018年,阿里和百度等都提出“车路协同”的概念,基于LTE-V2X和5G带来的超视距感知能力和高可靠低延迟链路,可以把一部分感知和决策能力放在路端,利用边缘云的思路去解决环境和基础设施的问题。同年,百度与厦门金龙合作生产的全球首款Level 4级量产自驾巴士“阿波龙”量产下线[1]。

(3) 高度自动化与测试阶段(2020-): 进入2020年代,自动驾驶技术进入了高度自动化阶段。一些汽车制造商推出了配备“高级驾驶辅助系统(ADAS)”的汽车,实现了在特定条件下的自动驾驶。然而,这一阶段依然需要驾驶员时刻保持警惕,以应对突发情况。同时,自动驾驶车辆的测试也逐步扩大,各类测试车辆在不同城市的道路上进行了大量测试,包括无人驾驶出租车等。

1.2 自动驾驶系统介绍

自动驾驶系统通常由感知系统、决策系统和控制系统三个主要部分组成。感知系统负责收集周围环境的信息,包括其他车辆、行人、路标等;决策系统则根据感知系统收集的信息,通过算法计算出最佳的行驶路线和速度;控制系统则负责按照决策系统的指令,控制汽车的行驶。感知技术主要包括雷达、激光雷达、摄像头等传感器的使用,以及图像识别、语音识别等人工智能技术的应用。决策技术主要包括路径规划、行为预测、避障等算法的研究。控制技术主要包括电机控制、刹车控制、转向控制等[2]。

2 控制方法理论基础

2.1 控制理论的基本概念和原理

控制理论是研究如何通过输入信号来调节、管理和

优化系统输出的学问。在自动驾驶汽车的背景下，控制理论的目标是使车辆按照预定的方式运行，确保其在各种环境和工况下的安全、稳定和效率。控制系统的核心部件包括传感器、控制器和执行器。传感器负责检测系统的状态并产生反馈信号；控制器接收反馈信号，通过与期望状态的对比，计算出控制输入；执行器则按照控制器的指令，调整系统的状态。控制理论的基本原理包括稳定性、可控制性和可观性。稳定性是指在受到扰动后，系统能够恢复到原来的状态或者至少在一定时间内保持稳定。可控制性是指系统对外部输入的响应能力，即通过适当的控制器调整，能否将系统从任意初始状态引导到目标状态。可观性则是判断系统内部状态能否仅通过输出信号进行估计的能力。

2.2 自动驾驶中的经典控制方法

经典控制方法在自动驾驶中应用广泛，主要包括比例-积分-微分（PID）控制器、根轨迹法和频率域法等。这些方法基于线性系统理论和频率响应分析，适用于对简单非线性系统的近似描述。PID控制器是最常用的一种，它根据误差信号的比例、积分和微分进行调节，以减小系统的误差。然而，经典控制方法在处理非线性、强耦合和不确定性的复杂系统时存在局限性^[3]。

2.3 现代控制理论在自动驾驶中的应用

现代控制理论在自动驾驶中发挥了越来越重要的作用，弥补了经典控制方法的不足。现代控制理论考虑了系统的不确定性、非线性和耦合性，能够更精确地描述和优化自动驾驶汽车的动态行为。线性矩阵不等式（LMI）方法是现代控制理论中的一种常用工具，用于解决优化和控制问题。在自动驾驶中，LMI可以用于设计鲁棒控制器，使系统在存在不确定性和干扰的情况下仍能保持稳定。基于状态空间模型的滑模控制也是现代控制的一个分支，它利用滑模面的设计来处理系统中的非线性问题，确保自动驾驶系统的稳定性和鲁棒性。模型预测控制（MPC）是另一种重要的现代控制方法，它通过求解优化问题来预测系统的未来状态并确定最佳控制策略。MPC在自动驾驶中广泛应用于路径规划、速度控制和避障等问题。通过考虑多约束条件和预测模型，MPC能够处理复杂的动态情境，并确保车辆的安全性和效率。此外，自适应控制也是现代控制理论的重要组成部分。自适应控制能够根据系统参数的变化自动调整控制器参数，以适应不同的驾驶环境和车辆动态。在自动驾驶中，自适应控制被用于处理轮胎载荷、道路摩擦系数等变化的参数，从而提高车辆对不同驾驶条件的适应性^[4]。

3 智能汽车自动驾驶控制策略研究

3.1 路径规划与决策控制策略

路径规划和决策控制是自动驾驶系统的关键部分，负责确定车辆在道路上的行驶路径和决策逻辑。路径规划算法可分为全局路径规划和局部路径规划。全局路径规划通常基于地图信息和预先设定的路径，使用诸如Dijkstra算法、A*算法等图搜索算法来找到起点到终点的最优路径。局部路径规划则是在给定的起点和终点之间，根据车辆的当前位置、目标方向和动态环境，实时生成一条安全、连续、平滑的轨迹。这通常涉及到基于参数或学习的启发式搜索方法，如模糊逻辑、神经网络等。决策控制策略的目标是根据车辆的状态和环境信息，做出合理的驾驶决策。这涉及到交通规则的理解、障碍物的识别与避让、行人行为预测等多个方面。一种常见的决策控制方法是基于规则的专家系统，它根据预先设定的规则和逻辑进行推理，得出驾驶指令。另一种方法是基于机器学习的方法，通过大量的驾驶数据训练模型，使车辆能够自主学习和做出驾驶决策^[5]。

3.2 车辆横向与纵向控制策略

横向控制和纵向控制是自动驾驶中的两个关键方面，横向控制负责控制车辆在道路上的行驶方向，纵向控制则负责控制车辆的行驶速度和加速度。横向控制通常采用经典的PID控制器或现代的滑模控制方法，根据车辆相对于预定路径的偏差来计算转向输入，使车辆返回预定路径。为了处理非线性、不确定性和扰动，一些先进的控制方法，如鲁棒控制和自适应控制也被应用在横向控制中。纵向控制的目标是确保车辆在各种环境和工况下的安全、舒适和高效的行驶。这包括对车辆速度的控制、加速度的限制以及对前后车距的保持。现代控制理论中的模型预测控制（MPC）被广泛应用于纵向控制中，它通过预测未来的车辆行为并考虑多约束条件，来找到最优的控制输入，实现速度和加速度的控制。同时，为了避免碰撞和保持安全车距，也需要用到诸如模糊逻辑、神经网络等智能控制方法进行障碍物检测和碰撞预警。

3.3 环境感知与信息融合控制策略

环境感知是自动驾驶的关键技术之一，它通过各种传感器（如雷达、激光雷达、摄像头等）获取车辆周围的环境信息，为决策和控制提供必要的输入。信息融合技术则是对来自不同传感器的数据进行综合处理和分析，以提高感知的准确性和可靠性。环境感知的主要任务包括障碍物检测、交通信号识别、行人和车辆行为预测等。传感器融合方法通过采用多传感器数据融合技术，充分利用不同传感器之间的互补性，降低单一传

传感器可能带来的误差和不确定性。一些常用的融合方法包括卡尔曼滤波、贝叶斯网络和多层次融合等。环境感知与信息融合控制策略的目标是提高自动驾驶系统对环境理解和响应能力。通过对环境信息的实时感知和处理,系统能够更准确地识别障碍物、行人和交通状况,从而做出更安全、更有效的驾驶决策和控制。同时,通过信息融合技术,系统能够综合利用不同传感器的数据,进一步提高感知的准确性和可靠性。

3.4 安全与冗余控制策略

安全是自动驾驶的核心要求之一,安全与冗余控制策略在自动驾驶中至关重要。这一策略的目标是在出现故障或异常情况时,确保系统的稳定性和安全性。冗余设计是实现安全的重要手段之一,它通过在系统中设置多个相同或类似的组件或模块来实现。当某个组件出现故障时,其他组件可以继续工作或进行备份,确保系统的正常运行。此外,冗余设计还可以提高系统的可靠性,减少故障发生的概率。

3.5 网联技术与协同控制策略

随着车联网(V2X)技术的发展,智能汽车可以与其他车辆、交通基础设施和云服务平台进行通信,实现信息的共享和协同控制。通过车联网技术,车辆可以获得更广泛的交通信息和路况信息,从而更有效地进行路径规划和决策控制。协同控制策略利用车联网技术,使多个智能车辆之间以及车辆与基础设施之间能够进行信息交互和协同工作。通过协同控制,车辆可以预测其他车辆的动态行为和意图,从而更好地协调自身的驾驶行为,提高整体交通的运行效率和安全性。协同控制策略在自动驾驶中发挥越来越重要的作用。例如,在自动驾驶的编队行驶中,多辆车需要保持紧密的距离和相对速度,协同控制策略可以帮助实现这一目标。此外,在交通拥堵和交叉口场景中,协同控制策略也可以提高车辆的通行能力和安全性。

3.6 人机共驾与交互控制策略

人机共驾是自动驾驶发展中的一个重要阶段,在这一阶段,车辆既具备自动驾驶功能,也提供手动驾驶模式。人机共驾需要解决的关键问题是如何实现人、车之间的有效交互和协同工作。交互控制策略是实现人机共

驾的关键技术之一。它通过设计友好的人机界面和交互方式,使驾驶员能够方便地接管或释放驾驶权。同时,交互控制策略也需要确保驾驶员在自动驾驶过程中的安全性和舒适性。为了实现人机共驾的安全性和效率,需要研究和设计合理的交互控制策略。这包括对驾驶员状态和意图的识别、驾驶员的响应时间和疲劳状态的监测等方面的研究。通过这些研究,可以设计出更加智能和人性化的交互控制策略,从而提高人机共驾的安全性和舒适性。

智能汽车自动驾驶控制策略是实现自动驾驶的关键技术之一。它涉及多个方面的研究,包括路径规划与决策控制策略、车辆横向与纵向控制策略、环境感知与信息融合控制策略、安全与冗余控制策略、网联技术与协同控制策略以及人机共驾与交互控制策略。这些策略相互关联和相互支持,共同构成自动驾驶系统的核心技术体系。

结束语

通过对智能汽车自动驾驶的控制方法进行深入分析,我们可以看到,无论是在经典控制还是现代控制理论方面,都取得了一定的成果,但仍面临许多挑战。未来,随着传感器技术、计算机视觉和人工智能等技术的不断发展,智能汽车自动驾驶的控制方法将会更加精准、高效和安全。同时,为了实现更广泛的自动驾驶应用,还需要加强相关的法规制定和标准建设,以保障自动驾驶技术的可持续发展。

参考文献

- [1]中国汽车工程学会,国家智能网联汽车创新中心.智能网联汽车蓝皮书:中国智能网联汽车产业发展报告(2022)[M].社会科学文献出版社,2023.
- [2]焦科,宋晓琳,文宝印.智能汽车自动驾驶控制方法的研究[J].科学技术创新,2022(01):168-170.
- [3]李晓伟,吴新宇.基于传感器融合的智能汽车自动驾驶纵向控制[J].汽车文摘,2023(04):39-44.
- [4]王立平,吴泽民.基于人工智能技术的车辆自动驾驶控制方法研究[J].智能系统学报,2021(06):59-65
- [5]张慧君.自动驾驶汽车环境感知技术研究现状与展望[J].科学观察,2020,10(01):10-17.