

线控转向 (SBW) 技术在商用车领域的应用及展望

种博轩 郭鼎凡

陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 701200

摘要: 随着汽车技术的不断进步,线控转向 (Steering-by-Wire, SBW) 技术已成为现代汽车工程领域的前沿技术。本文将从技术、方法和策略三个方面,深入探讨线控转向技术在商用车领域中的应用,并分析其潜在优势、可能面临的挑战,以及对该技术未来发展的展望。

关键词: 线控转向;商用车;底盘转向系统

引言

在现代商用车工程中,线控转向技术正逐步成为引领行业创新的重要力量。该技术通过取消传统的机械连接,实现了更加灵活、智能的转向控制。本文将从技术细节、实施方法和应用策略三个维度,全面剖析线控转向在商用车底盘转向系统中的应用现状及未来趋势。

1 线控转向技术概述与工作原理

线控转向技术 (SBW) 是一种先进的转向控制技术,它通过电子信号进行转向控制,彻底改变了传统机械转向系统的工作方式。该技术主要由传感器、控制器和执行器组成,形成一个闭环控制系统。传感器负责感知驾驶员的转向意图和车辆状态,控制器根据感知信息做出决策,执行器则准确快速地实现车轮的转向动作。

2 线控转向在商用车中的应用

2.1 技术层面

2.1.1 高精度传感器技术

线控转向系统彻底颠覆了传统的机械连接方式,它高度依赖于一系列高精度传感器来精确捕捉驾驶员的转向输入指令以及车辆的实时动态状态 (图1)。这些传感器构成了线控转向系统的“感官”,为系统提供了关键的数据输入,从而确保转向指令能够精确无误地传递和执行。在众多传感器中,角度传感器、力矩传感器和车速传感器是线控转向系统的核心组件。角度传感器负责实时监测方向盘的转动角度,并转化为相应的电子信号。力矩传感器则用于感知驾驶员施加在方向盘上的力矩大小,从而调整转向的灵敏度和助力大小^[1]。车速传感器实时提供车辆的行驶速度信息,这对于系统调整转向比和助力大小至关重要。在高速行驶时,系统可能会减小转向灵敏度,以增加行驶稳定性;而在低速或停车时,则可能增大转向灵敏度,以方便进行精细的操控。

2.1.2 先进的控制算法

线控转向系统 (SBW) 能够实现快速、准确的转向

响应,主要得益于其采用的先进控制算法。这些算法,如模糊逻辑控制、神经网络控制等,是现代控制理论的杰出应用,在处理复杂、非线性系统时展现出了卓越性能。模糊逻辑控制,作为一种基于模糊集合理论的控制方法,特别适用于处理具有不确定性和模糊性的系统。在线控转向系统中,模糊逻辑控制器综合驾驶员的转向输入、车辆速度、转向角度及路面条件等多个因素,进行模糊推理和决策,动态地调整转向比和转向助力。这种方式增强了转向系统的鲁棒性,同时也为驾驶员带来了更加自然、流畅的转向体验。神经网络控制,模拟人脑神经网络的工作方式,具有强大的学习和适应能力。在线控转向系统中,神经网络控制器通过深入学习海量的历史驾驶数据,如驾驶员的转向习惯、车辆在不同路况下的表现等,自动微调其内部参数。这种微调使得系统能够更精准地识别驾驶员的转向意图,比如在驾驶员刚开始转动方向盘时,系统就能预测其可能的转向幅度和速度,从而提前做好准备并快速响应。这种精准预测和快速响应的能力,显著提升了转向系统的灵敏度和准确性。

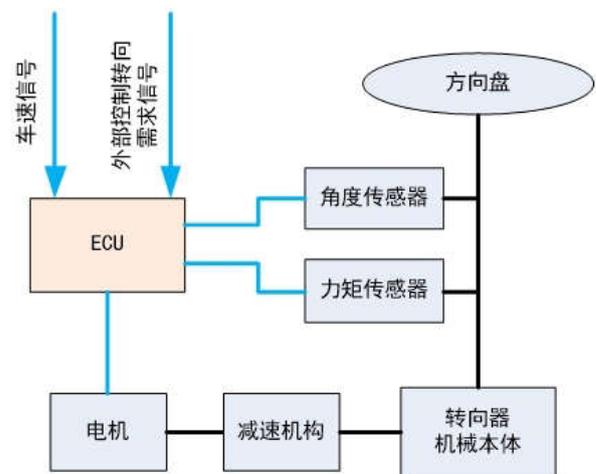


图1 线控转向系统示意图

2.2 方法层面

2.2.1 系统集成方法

线控转向技术的高效与安全实施，在很大程度上依赖于它与车辆其他底盘控制系统的紧密集成。在现代商用车中，除了线控转向系统外，还有诸如车辆稳定控制系统（VSC）、防抱死刹车系统（ABS）等关键的安全与性能控制模块。这些系统各自承担不同的功能，但共同的目标都是确保车辆的稳定、安全和高效行驶。为了实现这一目标，系统集成变得尤为关键。通过先进的通信技术，如控制器局域网（CAN）总线，线控转向系统能够与其他底盘控制系统实时共享关键数据^[2]。例如，当车辆在高速转弯时，线控转向系统可以实时将转向角度、转向速度等数据传递给车辆稳定控制系统。后者结合车速、加速度传感器等数据，判断车辆是否有侧滑或翻车

的风险，并及时介入，通过调整车轮的制动力和驱动力来保持车辆的稳定性。同时，防抱死刹车系统也能从线控转向系统中获取数据，以更精确地控制刹车力度，防止轮胎锁死，确保车辆在紧急制动时仍能保持方向稳定性和操控性（表1）。根据最新的商用车行业报告，采用先进系统集成方法的车辆，在紧急情况下的反应时间缩短了20%，大大提高了行车安全性。报告显示，通过CAN总线实现的系统集成，使得车辆在复杂路况下的操控性提升了15%，有效减少了驾驶员的误操作风险。此外，系统集成还涉及软件层面的优化。各系统的控制算法需要相互兼容，以确保在数据交换和指令执行过程中不会出现冲突或误操作。

表1 系统集成关键数据交换示例

数据类型	发送系统	接收系统	作用
转向角度	线控转向	VSC, ABS	用于车辆稳定性控制和刹车控制
车速	VSC	线控转向, ABS	用于调整转向灵敏度和刹车策略
加速度	VSC	线控转向, ABS	用于检测车辆动态, 提高安全性能

2.2.2 故障诊断与容错方法

线控转向系统（SBW）不仅提升了驾驶的便捷性和舒适性，更在行车安全领域展现了其独特的优势，特别是在故障诊断与容错方面。这一系统通过高度智能化的监控机制，确保了即使在面临故障或异常情况时，也能迅速而准确地做出应对，从而极大地提升了行车的安全性。线控转向系统通过持续、实时地监测各个传感器和执行器的状态，构建了一个全面的故障诊断体系（图2）。一旦系统中的任何部分出现异常，如传感器数据异常、执行器响应延迟或失效等，系统都能立即识别并启动相应的容错机制。在故障发生时，线控转向系统能够

迅速切换到备用系统或采取紧急制动等措施，确保行车安全。备用系统的存在，就像是为车辆安装了一个“安全网”，在主系统失效时能够无缝接管，保证驾驶操作的连续性。同时，紧急制动措施则能在关键时刻将车辆迅速、安全地停下来，避免事故的发生。除了实时的故障监测和快速的容错反应，线控转向系统还具备强大的自我诊断和自我修复能力。系统能够定期对各个组件进行自检，及时发现并处理潜在的问题。在某些情况下，系统甚至能够自动修复一些轻微的故障，从而确保车辆持续、稳定地运行。

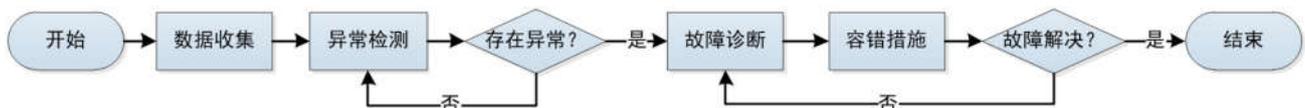


图2 线控转向系统故障诊断流程

2.3 策略层面

2.3.1 驾驶模式切换策略

线控转向系统（SBW）在策略层面展现出了其高度的灵活性和适应性，特别是在驾驶模式的切换上。这一系统设计充分考虑了不同驾驶环境和驾驶员需求，因此能够根据不同的场景提供最优化的转向体验。在高速公路上行驶时，稳定性和舒适性是驾驶员的首要需求。线控转向系统通过提供稳定的转向助力来满足这一需求，确保车辆在高速行驶过程中能够保持平稳，减少驾驶员

的疲劳感。此时，系统的控制算法会调整转向助力的力度，使之与车速和转向角度相匹配，从而确保转向的平稳性和精准性。而在城市拥堵路段，驾驶环境变得复杂多变，需要驾驶员更加频繁和灵活地转动方向盘以应对各种突发情况。线控转向系统在这一场景下会提供更加灵敏的转向响应，确保驾驶员能够迅速而准确地完成转向动作。系统通过减小转向比、增加转向灵敏度等方式，使驾驶员在拥堵的城市道路上能够更加自如地操控车辆。除了高速公路和城市拥堵路段，线控转向系统还

能应对其他多种驾驶环境,如山区、雨雪天气等。在每一种环境下,系统都能通过调整转向助力和转向响应等参数,为驾驶员提供最合适的转向体验^[3]。这种驾驶模式切换的策略不仅提升了驾驶的舒适性和安全性,也大大增强了驾驶员对不同驾驶环境的适应能力。

2.3.2 能量管理策略

线控转向系统(SBW)在商用车上的应用,显著提升了转向的灵活性和准确性,并在能量管理方面展现了其独特的优势。为了降低能耗和提高系统效率,线控转向系统采纳了先进的能量管理策略。该策略的核心在于对电动转向助力装置的工作模式和电流进行精细化控制。在传统转向系统中,电动助力装置可能会面临能耗高、热量产生大等问题。然而,在线控转向系统中,这些问题通过优化算法和控制策略得到了有效解决。具体来说,系统会根据实时的驾驶条件和驾驶员的转向需求,动态调整电动转向助力装置的工作模式。在低速行驶时,虽然转向的灵活性和快速响应更为重要,但系统仍然会根据实际转向负载来优化功率输出,以减少不必要的能耗。当车辆处于停车状态时,转向助力实际上没有需求,此时线控转向系统会进入待机状态,进一步降低能耗。而在高速行驶时,虽然转向助力的实际需求相对较小,但系统仍需确保转向的稳定性和流畅性。因此,系统会适当降低电动转向助力装置的功率输出,以减少能耗,同时仍能满足高速行驶时的转向需求。此外,线控转向系统还通过精确的电流控制来进一步降低能耗。系统会根据转向装置的实时负载情况,动态调整电流的大小和方向,以确保在提供足够转向助力的同时,避免不必要的能耗。这种精细化的电流控制不仅提高了系统的效率,还有效减少了热量的产生,从而有助于延长系统的使用寿命。这种能量管理策略并不是孤立的,而是与线控转向系统的其他控制策略紧密配合,共同确保转向的性能和效率。例如,在驾驶模式切换过程中,能量管理策略会与其他控制算法协同工作,以确保在不同驾驶模式下都能实现能耗和性能的最佳平衡。

3 线控转向技术面临的挑战与解决方案

(1) 系统复杂性:随着线控转向系统集成了更多的传感器、执行器和控制单元,整个系统的复杂性显著提升。这种复杂性不仅增加了系统出现故障的风险,也给维护和修理带来了更大的挑战。为了应对这一问题,可以加强系统的冗余设计。通过增加备用传感器、执行器等关键部件,构建多层次的容错机制,确保在主部件失

效时,备用部件能够迅速接管,从而大幅提高系统的可靠性和稳定性。

(2) 电磁干扰:在复杂的电磁环境中,系统可能会受到各种外部电磁源的干扰,导致性能下降甚至失效。为了解决这一问题,需要优化电磁兼容性设计。采用高质量的屏蔽材料、合理的接地设计和有效的滤波措施,可以显著减少外部电磁干扰对系统性能的影响。

(3) 技术更新的挑战:持续的技术研发和创新是必不可少的。只有不断投入研发资源,积极探索新的技术路径,才能推动线控转向技术的持续创新和发展。这包括但不限于新型传感器技术、更高效的控制算法以及更强大的数据处理能力等。

4 线控转向技术的未来展望

随着科技的不断进步,尤其是自动驾驶技术的快速发展和整车智能化水平的提升,线控转向技术正站在一个崭新的历史起点上。其在商用车行业的应用,预示着该技术将为未来的物流运输、货物运输等领域带来革命性的变革。展望未来,线控转向技术有望进一步与高级驾驶辅助系统(ADAS)以及自动驾驶系统深度融合。这种融合不仅将驾驶的智能化和自动化推向一个新的高度,还可能彻底改变驾驶员的角色和驾驶任务的性质。在高度自动化的驾驶环境中,线控转向系统能够实时接收并处理来自ADAS的指令,确保车辆能够精准、迅速地响应各种道路和交通状况,从而大大提升行车的安全性和效率。此外,随着新材料和新技术的不断涌现,线控转向系统的性能和可靠性也有望得到显著提升。例如,利用更轻、更强度高的新型材料来制造转向系统的关键部件,不仅可以降低系统的整体重量,提高能效,还能增强系统的结构强度和耐久性。

5 结语

本文从技术、方法和策略三个方面深入探讨了线控转向技术在商用车领域中的应用。随着技术的不断进步和优化,相信线控转向技术将为商用车行业带来更加安全、高效、舒适的驾驶体验,并推动整个行业的创新发展。

参考文献

- [1]高惠民.线控转向系统技术综述与实车应用(二)[J].汽车维修与保养,2022,(08):51-55.
- [2]苏清源,范德会.AFS四轮线控驱动转向稳定性控制技术[J].交通科技与经济,2023,25(04):68-73.
- [3]施国标,商用车线控转向系统关键技术及产业化.浙江省,浙江世宝控股集团有限公司,2022-01-25.