

Application of Intelligent Sensor Technology in Automotive Electronic Technology

Wu Zhou Wensheng Liang Qingqing Zhou Yao Ming

Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511434, China

Abstract

Intelligent sensor technology has become the key support for the development of automotive electronic technology, especially in the body control system. This study focuses on the core system of body attitude, suspension adjustment and stability control, and analyzes the functional characteristics and working mechanism of multiple types of intelligent sensors in practical application. Study combining the system structure analysis and typical case analysis, mainly discusses the sensor fusion, data optimization and communication synergy on body control performance, research shows that the intelligent sensor in enhancing vehicle dynamic response ability and promote active safety level has played an important role, the high precision of intelligent car control and system integration has certain significance.

Keywords

intelligent sensor; body control; automotive electronics; dynamic stability

智能传感器技术在汽车电子技术中的运用

周武 梁文生 周清清 明瑶

广州汽车集团股份有限公司, 中国·广东 广州 511434

摘要

智能传感器技术已成为汽车电子技术发展的关键支撑, 特别在车身控制系统中的应用日益广泛。本研究围绕车身姿态、悬架调节与稳定控制等核心系统, 分析了多类智能传感器在实际应用中的功能特性与工作机制。研究采用系统结构分析与典型案例解析相结合的方法, 重点探讨了传感器融合、数据优化与通信协同对车身控制性能的提升作用, 研究表明智能传感器在增强车辆动态响应能力与提升主动安全水平方面发挥了重要作用, 对未来智能汽车的高精度控制与系统集成具有一定的推动意义。

关键词

智能传感器; 车身控制; 汽车电子; 动态稳定

1 引言

汽车电子技术的快速发展推动了整车控制精度与智能化水平的不断提升, 车身控制系统作为整车主动安全与动态性能的重要保障, 越来越依赖于高精度、高响应的传感技术。智能传感器具备信息感知、数据处理与通信功能一体化的特点, 已逐步取代传统传感器, 成为车身控制系统的核心部件之一, 智能传感器的应用价值在自动驾驶、智能悬架、稳定控制等关键领域不断显现, 为实现复杂工况下的精准控制提供了关键技术支撑。

2 智能传感器技术基础

2.1 智能传感器的定义与结构组成

智能传感器是一种具备感知、信号调理、数据处理和通信功能的综合性器件, 不仅能采集外部物理量或化学量的信息, 还能完成一定程度的智能判断与控制功能, 其核心在于传感单元与嵌入式处理模块的深度融合。与传统传感器相比, 不仅在硬件结构上引入了微处理器、存储器和信号转换模块, 还在系统架构中加强了自校准、自诊断和自适应功能, 具备较强的环境适应性和数据准确性, 其典型结构包含感知层、信号调理层、数据处理单元以及通信接口层, 能实现从数据采集到实时输出的闭环控制^[1]。

2.2 智能传感器的数据处理与自适应能力

智能传感器的数据处理能力是其区别于传统传感器的重要特征, 在复杂车载环境下传感器不仅面临高频振动、温度变化、强电磁干扰等挑战, 还需对瞬时动态数据进行快速准确地分析与传输。智能传感器借助内置处理单元对原始信

【作者简介】周武(1982-), 男, 中国广东广州人, 本科, 工程师, 从事汽车电子电器研究。

号进行滤波、特征提取、线性化与校正等预处理操作，在输出数据前已完成一系列实时优化计算，有效提高了信息的有效性与时效性，智能传感器还具备一定的自学习与参数自调节能力，能根据长期运行数据对自身输出模型进行微调，进一步保持高精度输出。自适应能力的实现依赖于嵌入式算法与传感器内部模型的持续优化，使其在面对不同路况、不同载荷或异常工况时仍能维持稳定输出，这种智能处理能力直接支撑了如惯性导航、车身姿态估计与稳定控制等系统的实时性与稳定性，是构建高性能车身控制系统的关键技术支点。

2.3 汽车应用中常见智能传感器类型

车身控制系统中广泛使用的智能传感器种类多样，功能各异，根据应用场景可分为惯性类、位移类、力学类与环境感知类几大类。惯性类传感器如加速度计、陀螺仪、组合惯性测量单元（IMU）主要用于测量车辆在三维空间中的动态参数，如加速度、角速度与姿态角，是稳定性控制与侧翻预警系统中的核心部件^[2]。位移类传感器包含电子高度传感器和转角传感器，常用于主动悬架系统与四轮转向系统中，实现车身高度调节与轮胎导向角控制。力学类传感器如压力传感器、应变片用于监测悬架受力状态与制动力分配，保证车身响应的均衡性与安全性。以上传感器的综合使用不仅增强了车身控制系统的感知维度，也为后续章节关于姿态控制、侧倾抑制与传感器集成优化等内容奠定了技术基础。

3 智能传感器在车身控制关键系统中的应用

3.1 车身稳定控制系统中的惯性测量单元

车身稳定控制系统（Vehicle Stability Control, VSC）依赖高精度传感器实时感知车辆动态状态，以实现侧滑、转向过度或不足等异常工况的主动干预。惯性测量单元（Inertial Measurement Unit, IMU）作为该系统的核心感知设备，集成了三轴加速度计与三轴陀螺仪，能同步获取车辆的线性加速度与角速度信号，用于估算车身的姿态变化、横摆率与侧向运动趋势。IMU的数据在高动态驾驶状态下，可用于判断车辆是否偏离驾驶员预期路径，为电子稳定程序（ESP）等控制策略提供关键输入^[3]。当前高性能IMU产品不仅具备高采样率和低漂移特性，还具备容错与自校准能力，能在传感器信号短暂失真或干扰下维持系统的持续工作。为了实现更精确的车身状态测算，IMU常与轮速传感器、方向盘转角传感器进行数据融合，借助滤波算法提升系统稳定性。惯性测量单元作为车身控制感知链条中的首要节点，其输出质量直接影响整个系统响应的精准度，在智能传感器系统集成优化中具有关键地位。

3.2 主动悬架系统中的位移与加速度传感器

主动悬架系统的核心目标是动态调节车轮与车身之间的相对运动状态，以提升乘坐舒适性、控制稳定性和路面附着能力，系统的精确控制高度依赖于对悬架位移、加速度以及

轮胎载荷变化的实时监测。电子位移传感器被用于测量悬架行程，捕捉车身与车桥之间的相对高度变化，反映路面起伏与车身动态响应；三轴加速度传感器则安装于车身关键部位，实时获取垂向、纵向与横向的加速度信号，识别车身的跳动、俯仰和侧倾趋势。再配合轮速信号与转向角数据，构成悬架控制的感知基础。数据在主控策略中经过滤波与融合处理后，被用于调整电磁减振器或气压单元响应参数，实现对悬架硬度与阻尼特性的主动调节。

3.3 侧翻抑制系统中的车身倾角传感器

车辆在高速转弯或紧急避障过程中面临侧翻风险，对车身侧向稳定性提出更高要求，车身倾角传感器是侧翻抑制系统中的关键感知元件，主要用于实时监测车身相对于地面的侧向倾斜角度，进一步判断是否处于潜在侧翻状态。此类传感器一般基于微机电系统（MEMS）陀螺仪与加速度计的组合结构，具备高精度、低延迟与强抗干扰性能。传感器通常安装在车身质心附近，输出信号用于动态调整制动系统、悬架刚度或主动防倾杆，一定程度上削弱车辆倾斜趋势^[4]。车身倾角信息在实际控制中常与横摆率、侧向加速度与轮胎载荷传感数据进行联合处理，形成多变量评估模型，为提高系统鲁棒性还可引入冗余倾角传感器构成容错机制，保证在单点失效条件下系统仍可安全运行。

4 智能传感器技术在车身控制中的集成与优化

4.1 基于传感器融合的车身状态实时建模

车身状态建模是车身控制系统设计与执行的核心基础，在高动态驾驶过程中，单一传感器通常难以提供完整、稳定的车身状态信息，所以引入多源智能传感器的数据融合技术成为关键手段，组合使用IMU、转向角传感器、轮速传感器与加速度计等，构建动态估计模型，可以实时获取车身横摆率、侧向速度与姿态角等状态变量，基于卡尔曼滤波算法的传感器融合模型在车身状态建模中具有广泛应用。融合算法利用系统模型与实时观测数据的联合估计，动态修正预测偏差并提升状态识别精度，该建模过程为车身姿态稳定控制、主动避障及自适应转向等系统提供连续、准确的状态反馈，是车身控制系统执行精度与响应速度的核心保障。

4.2 面向控制算法的传感数据优化处理

车身控制系统对传感器数据的实时性、准确性与抗干扰能力要求极高，而原始信号在采集、传输与转换过程中不可避免存在噪声、偏移与延迟，为保障控制算法的执行效果，需在传感器层面实现数据预处理与优化，包含多级滤波、非线性校正与模型预测补偿等^[5]。悬架控制或稳定性控制中，采集到的加速度信号常伴随高频振动与随机扰动，若直接用于控制器输入，将导致系统误触发或控制超调，常用的低通滤波器设计可借助差分方程实现：

$$Y(t) = \alpha \cdot x(t) + (1 - \alpha) \cdot y(t - 1).$$

其中， $x(t)$ 为当前时刻传感器输出， $Y(t)$ 为滤波后的信

号, α 为滤波系数, 取值越小表示滤除高频噪声能力越强但响应滞后越大, 在动态驾驶状态下部分系统还引入模型预测机制, 依靠建立输入—输出之间的系统响应模型对未来状态进行估算与修正。传感数据的优化不仅是信号处理层面的任务, 更是系统控制精度保障的前提条件, 与后续的传感器协同机制高度耦合。

4.3 车载通信网络中的传感器协同机制

随着车身控制系统的智能化发展, 车载网络中涉及的传感器数量与种类持续增加, 如何实现多传感器节点之间的高效协同与信息共享成为核心问题。控制器局域网络(CAN)在车身控制相关的通信架构中依然是主要传输媒介, 部分高带宽需求系统引入 CAN-FD 或以太网以满足大数据量传输需求, 在一项关于高端 SUV 车身控制系统的协同通信研究中, 对四通道主动悬架传感器与稳定控制系统之间的数据传输延迟进行了测试评估, 通信参数如下: 总线发送周期 10ms。测试过程中以传感器数据打包发送至控制器成功接收并完成解析为延迟测量标准。具体数据如表 1 所示:

表 1 传感器节点数据通信延迟测试结果 (单位: ms)

传感器类型	通信协议	平均延迟	峰值延迟
前轮位移传感器	CAN	2.1	4.7
后轮位移传感器	CAN	2	4.5
车身加速度传感器	CAN-FD	1.5	2.8
横摆率传感器	CAN-FD	1.3	2.5

表 1 的数据表明在 CAN-FD 能有效降低传感器的通讯延迟, 极大提升了控制系统响应效率与同步精度。传感器协同机制的建立不仅依赖硬件传输介质, 还包含数据时序管理、冗余设计与通信协议一致性, 为进一步提升系统稳定性, 还可引入多主控冗余架构, 在主节点失效时可切换到备用节

点, 维持传感数据的连续供应。

5 结语

智能传感器技术在车身控制系统中的应用表现出高度集成、高精度感知与快速响应等技术优势, 能实现对车辆姿态、悬架状态及侧向动态的精确监测与干预, 有效提升整车的动态性能与主动安全水平。惯性测量单元在稳定控制中可提供高频率姿态估计, 位移与加速度传感器为主动悬架系统提供动态调节依据, 车身倾角传感器为侧翻风险识别与控制策略激活提供关键输入, 多传感器融合算法实现了车身状态的高精度建模与预测, 滤波与数据校正优化提升了控制算法的执行稳定性, 车载通信网络支持了大规模传感节点间的低延迟协同与数据一致性保障。面向复杂动态场景与高阶控制需求, 智能传感器的系统集成能力与算法耦合能力构成了车身控制技术持续演进的核心驱动要素。

参考文献

[1] 曹敏.智能传感器在无人驾驶汽车中的应用[J].汽车测试报告,2024,(24):29-31.

[2] 张勇,李苏赣,汪洋青.汽车底盘传感器在动态稳定控制系统中的应用研究[J].汽车维修技师,2024,(14):48.

[3] 茅卫东,面向轻量化全铝框架高精度车身智能制造的低热高可靠性焊接关键技术.安徽省,奇瑞新能源汽车股份有限公司,2023-05-17.

[4] 林栋,孙文广.视觉引导在白车身焊装中的应用实践[C]//中国汽车工程学会 (China Society of Automotive Engineers) .2020中国汽车工程学会年会论文集 (5) .中国第一汽车集团有限公司红旗工厂技术部,2020:590-596.

[5] 李佳佳,俞兴伟,洪挺.适用于电动汽车充放电功能的虚拟同步机技术的研究[J].电测与仪表,2021,58(12):39-48.