基于嵌入式平台的 AEBS 系统多传感器信号解析与协同控制研究

亚历山大·胡瓦特，许齐放，许振飞，姜良达，王泉，穆罕默德·哈霍
临沂高新区鸿图电子有限公司，山东 临沂 276017

DOI: 10.61369/TACS.2026090016

摘　　要： AEBS 系统属于商用车主动安全的关键构成部分，它的控制效果并非仅仅取决于制动执行机构，还需依赖多种传感器精准感知车辆状态、驾驶意图、制动工况。本文聚焦于嵌入式平台下 AEBS 系统的多传感器信号解析与协同控制予以研究，着重剖析直线位移传感器、霍尔轮速传感器、陶瓷电容压力传感器、RTD 温度传感器等关键单元的信号采集、调理、解析、融合方式，提出了一种系统思路，即“多源采集—信号调理—状态识别—风险判定—协同制动”。研究指出，借助统一时基、分层解析、冗余校验，能够提高 AEBS 系统的实时性、稳定性与安全性。

关 键 词： AEBS；嵌入式平台；多传感器；信号解析；协同控制

Research on Multi-sensor Signal Analysis and Collaborative Control of AEBS System Based on Embedded Platform

Alexander Huvat, Xu Qifang, Xu Zhenfei, Jiang Liangda, Wang Quan, Mohammed Hajo
Linyi High-tech Zone Hongtu Electronics Co., Ltd., Linyi, Shandong 276017

Abstract: The AEBS system is a key component of the active safety of commercial vehicles. Its control effect does not only depend on the brake actuator, but also relies on a variety of sensors to accurately sense the vehicle status, driving intention, and braking conditions. This article focuses on the multi-sensor signal analysis and collaborative control of the AEBS system under the embedded platform. It focuses on analyzing the signal acquisition, conditioning, analysis, and fusion methods of key units such as linear displacement sensors, Hall wheel speed sensors, ceramic capacitive pressure sensors, and RTD temperature sensors. It proposes a system idea, namely "multi-source acquisition-signal conditioning-state identification-risk determination-collaborative braking." The study points out that the real-time performance, stability and security of the AEBS system can be improved with the help of unified time base, hierarchical analysis and redundancy verification.

Keywords: AEBS; embedded platform; multi-sensor; signal analysis; collaborative control

引言

随着商用车电动化、智能化、安全法规要求持续提高，主动安全系统正逐渐从报警辅助朝着自动干预控制方向发展。AEBS 系统借助环境感知、目标识别、碰撞风险评估、自动制动控制等功能，当驾驶员反应不够及时或者操作出现滞后情况时，能够主动进行介入，从而降低追尾与碰撞的风险。商用车由于质量较大、轴荷变化比较明显、制动惯量较高，故而对工况识别精度、制动协调能力提出了更高的要求。仅仅依靠单一传感器，很难全面反映车辆的状态，因此需要通过多传感器协同感知，以此实现轮速、位移、压力、温度等信息的综合解析。

嵌入式平台作为 AEBS 实时控制的关键核心载体，要在复杂的车载电磁环境里达成多通道采集、噪声抑制、故障判别、数据融合、执行控制等一系列任务。已有研究表明，主动安全系统的可靠性不光取决于算法，还和传感器信号质量、采样同步、控制链路有着紧密联系[1]。所以，建立稳定、可解释且可扩展的多传感器解析与协同控制机制，具备较高的工程应用价值。

作者简介：
亚历山大·胡瓦特（1965.10-），男，德国籍，博士研究生，教授，研究方向：嵌入式系统、汽车电子传感器。
许齐放（1983.05-），男，汉族，山东省临沂市人，硕士研究生，研究方向：汽车电子。
许振飞（1980.01-），男，汉族，山东省临沂市人，本科，正高级工程师，研究方向：汽车传感器、传感器电路。
姜良达（1983.11-），男，汉族，山东省临沂市人，本科，研究方向：汽车电子、电子信息工程。
王泉（1992.07-），男，汉族，山东省临沂市人，专科，研究方向：汽车电子传感器、机械设计与自动化。
穆罕默德·哈霍（1998.11-），硕士研究生，职称：教授助理，电子开发工程师。

 | Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

一、AEBS 系统多传感器信号解析概述

（一）AEBS 系统的功能逻辑

AEBS 系统一般是由感知层、决策层、执行层构成的。感知层会收集车辆状态、驾驶员操作、外部环境等方面的信息，决策层根据目标距离、相对速度、轮速变化、制动压力、踏板位移等参数来判断碰撞风险，执行层借助制动控制单元和车辆总线达成预警、预制动还有紧急制动。商用车 AEBS 要确保制动有效性并且防止误触发，所以就得提高多源信号可信度。

在多传感器架构里，直线位移传感器能够识别踏板、阀体或者执行机构的位移情况，进而反映出驾驶员的意图、机械执行状态，霍尔轮速传感器会提供车轮转速、滑移趋势方面的信息，陶瓷电容压力传感器对气压或者液压的变化予以监测，RTD 温度传感器监测关键部位的温度升高情况，其作用是补偿漂移并且识别热衰退风险。不同传感器的特性存在着差异，需要借助嵌入式平台进行统一处理。

（二）嵌入式平台的处理特点

车载嵌入式平台通常由微控制器、模拟前端、ADC 采样模块、CAN 通信接口、电源管理模块和保护电路构成。其处理任务具有三方面特点：一是实时性强，采集和计算需在毫秒级周期内完成；二是抗干扰要求高，线束、高压部件和电磁阀会产生复杂噪声；三是安全冗余要求高，平台必须具备异常检测、默认保护和降级运行能力。

因此，嵌入式平台不能只是采集数据，而应将信号调理、滤波校准、状态估计、故障诊断和控制输出进行一体化设计。模拟量信号应关注前端滤波、阻抗匹配和采样精度；脉冲量信号应关注边沿捕获、周期测量和丢脉冲识别；总线类信号应关注报文周期、时间戳和通信异常。通过分层处理，可提高控制数据可靠性 [2]。

二、AEBS 多传感器信号解析面临的问题

（一）多源信号时序不同步

不同传感器的采样周期和响应特性并不一致。轮速信号变化快，适合高频采样；压力信号需要体现制动建立过程，也要求较高实时性；温度信号变化较慢，但会影响压力传感器和电子元件稳定性；位移信号常用于判断驾驶员操作或执行机构反馈。如果平台缺少统一时基，不同数据在融合时可能对应不同瞬间的车辆状态，造成风险判断偏差。

在紧急制动、湿滑路面、满载下坡等场景中，多类信号具有明显耦合关系。轮速快速下降不一定代表制动力充分，也可能是车轮抱死或轮速信号异常；压力上升也不一定意味着制动效果充分，还需结合车辆减速度和轮速变化判断。若各通道信号时间戳混乱，控制系统难以识别真实工况。

（二）噪声漂移影响解析精度

车载传感器长期处于振动、温差、湿热和电磁干扰环境中，信号易出现噪声、零点漂移、幅值衰减和短时突变。霍尔轮速传感器在低速状态下可能出现脉冲间隔不均；陶瓷电容压力传感器受温度和供电波动影响时可能出现输出偏移；RTD 温度传感器线路较长时会引入引线电阻误差；直线位移传感器在安装偏差或机械磨损情况下会出现非线性误差。若平台直接使用原始数据进行控制，容易造成误报警或误制动。

（三）故障诊断和工况适配不足

AEBS 系统对安全性要求较高，但实际开发中容易重视单一传感器标定，忽视多传感器逻辑校验。例如制动压力显著升高而踏板位移无变化，可能是系统主动制动介入，也可能是压力传感器异常；轮速突然为零，可能是车辆急停，也可能是线路断路。同时，商用车轴荷、载重、轮胎状态、道路附着条件差异较大，固定阈值式控制策略难以适应复杂场景。

三、嵌入式平台下信号解析与协同控制策略

（一）构建分层式多通道采集架构

为提升 AEBS 数据基础质量，嵌入式平台应采用分层式采集架构。底层完成传感器接口适配，包括模拟量输入、频率量输入、数字量输入和总线通信输入；中间层完成信号调理和预处理，包括低通滤波、限幅处理、温度补偿、零点校准和异常剔除；上层完成状态估计、风险判断和控制输出。通过层级划分，可避免采集逻辑与控制算法混杂，提高系统可维护性。

（二）优化信号调理与滤波校准方法

信号调理应遵循“先硬件抑噪、再软件修正”的原则。硬件层通过屏蔽线束、合理接地、RC 滤波、瞬态保护和电源隔离降低外部干扰；软件层通过滑动平均、中值滤波、一阶低通滤波、卡尔曼滤波等方法抑制随机噪声。对轮速信号，可采用周期测量与脉冲计数结合的方法兼顾低速精度和高速响应；对压力信号，可建立压力变化率约束，剔除不符合物理规律的突变值；对温度信号，可结合标定曲线进行分段补偿；对位移信号，可通过零点学习和行程边界校验减少装配误差。

（三）建立多传感器融合机制

多传感器融合的目标是从单一参数判断转向综合状态判断。嵌入式平台可将融合过程分为数据级、特征级和决策级。数据级融合主要解决时间同步和数据补偿问题；特征级融合提取车速、减速度、压力变化率、踏板位移变化率、温升趋势等状态特征；决策级融合则结合碰撞风险等级、驾驶员意图和制动系统状态输出控制指令。

商用车 AEBS 可构建“轮速—压力—位移—温度”协同判断逻辑。当目标碰撞风险升高时，系统首先读取轮速和车辆速度变化，判断纵向状态；随后结合压力传感器数据判断建压能力；再根据位移传感器判断驾驶员是否已有制动意图；最后通过温度传感器判断是否存在热衰退风险。若驾驶员已主动制动且压力建立充分，AEBS 可适当延缓强制介入；若驾驶员无明显制动动作且风险持续升高，系统应快速进入预制动或紧急制动阶段。该思路与智能车辆多源信息协同控制方向具有一致性 [3]。

（四）完善故障诊断与安全降级机制

AEBS 系统应将故障诊断贯穿采集、解析和控制全过程。对

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

单一传感器，可设置开路、短路、超量程、信号冻结、跳变异常等诊断规则；对多传感器组合，可设置互相校验规则。例如轮速变化与压力变化长期不匹配时，应提示制动执行或轮速采集异常；压力值变化与控制指令不一致时，应判断阀体、管路或压力传感器异常；温度超过阈值且制动压力响应迟缓时，应识别热衰退风险。

异常情况下，系统应根据故障等级采取分级降级策略。轻微信号波动可通过滤波和冗余校验继续运行；单个非关键传感器异常可降低功能等级并提示维护；关键传感器异常或多通道矛盾时，应限制自动制动输出，保留报警功能，并通过车载总线上报故障码，从而在安全性和可用性之间取得平衡。

（五）形成工况感知的协同控制策略

协同控制的核心是根据车辆状态和风险等级合理分配控制动作。AEBS 可将控制流程划分为目标确认、风险评估、预警提示、预制动、紧急制动和解除恢复六个阶段。不同阶段对传感器数据的依赖重点不同：目标确认阶段侧重外部感知与轮速稳定性；预制动阶段侧重压力建立速度；紧急制动阶段侧重制动力闭环与轮速滑移控制；恢复阶段关注压力释放、位移回位和系统温度。

针对商用车复杂工况，可引入载荷估计、道路附着识别和温度补偿控制。车辆满载时，可适度提前预制动时机并提高压力建立目标；湿滑路面时，应结合轮速滑移趋势控制制动力上升斜率；长下坡或频繁制动后，应根据 RTD 温度信号修正制动风险判断。嵌入式平台通过实时采集与融合多传感器信息，使 AEBS 控制由“固定阈值触发”转向“工况感知调节”，提高控制精度和行车安全性[4]。

四、AEBS 多传感器协同控制的发展趋势

（一）由单点检测向系统级融合发展

未来 AEBS 系统将不再依赖单一传感器或单一控制参数，而是更加重视车载传感器、执行机构和车辆控制器之间的系统级融合。轮速、压力、位移、温度等底盘状态信息将与毫米波雷达、摄像头、惯导和车联网信息共同参与风险判断，使系统具备更强场景理解能力。

（二）由经验阈值向模型与数据联合驱动发展

传统 AEBS 控制多依赖经验阈值和标定表，开发周期长且适应性有限。随着嵌入式芯片算力提升，基于车辆动力学模型、数据驱动算法和在线参数修正的控制方式将逐步应用。系统可根据历史制动数据、车辆载荷变化和路面附着状态实时优化控制参数，提高不同车辆平台之间的适配效率。

（三）由独立控制向整车协同控制发展

随着线控制动、电子稳定控制、智能驾驶域控制器和新能源商用车整车控制器的发展，AEBS 将逐步从独立安全功能转向整车协同控制节点。其控制指令需要与能量回收制动、气压制动、驱动电机扭矩控制、车身稳定控制等功能协调，避免多控制器同时干预造成冲突。多传感器信号解析也将成为整车智能底盘控制的重要基础。

五、结束语

针对基于嵌入式平台的 AEBS 系统，对多传感器信号展开解析、进行协同控制，这成为提高商用车主动安全性能的关键技术方向。直线位移传感器、霍尔轮速传感器、陶瓷电容压力传感器、RTD 温度传感器分别从操作意图、车辆运动、制动压力还有热状态等多个角度，为系统提供至关重要的数据。唯有经过统一采样、有效调理、动态滤波、数据融合、故障诊断等一系列操作，才能够把分散的传感器信号，转变成为可信赖的控制依据。着眼于实际应用方面，AEBS 系统需要进一步增强工况感知能力，建立多源信息约束之下的协同制动策略，并且要在功能安全、控制实时性、工程适配性之间达成一种平衡状态。在未来，伴随车载嵌入式算力的提高、智能底盘技术的发展，多传感器融合会促使 AEBS 系统朝着更高的可靠性、更强的自适应性、更深层次的整车协同方向不断发展。

参考文献

[1] 余志生 . 汽车理论 [M]. 北京：机械工业出版社，2020.

[2] 陈家瑞 . 汽车构造：下册 [M]. 北京：机械工业出版社，2018.

[3] 李克强，戴一凡，李升波 . 智能网联汽车技术体系及发展趋势 [J]. 汽车安全与节能学报 ,2019，10(1):1-14.

[4] 王建强，李博，高峰 . 车辆主动安全控制技术研究进展 [J]. 汽车工程 ,2020,42(6):721-730.

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License