

# 车路协同在客车主动安全控制中的应用

吴有龙

湖北汽车工业学院，湖北十堰，442000；

**摘要：**车路协同与客车主动安全控制的融合研究聚焦智能交通核心发展需求，构建起全域感知增强、协同决策与规划、故障预警与应急控制三大核心应用体系。全域感知技术通过车载与路侧多模态传感阵列实现无盲区数据采集，经特征级融合算法完成多元数据协同处理；协同决策模块依托分层融合算法与动态风险场域模型提升复杂场景控制精度；故障预警系统基于多维度故障特征提取与分级动态阈值实现精准预警与应急响应。该融合模式通过技术协同突破传统安全控制局限，有效提升客车行驶安全性与操控性，为自动驾驶规模化落地奠定坚实技术基础。

**关键词：**车路协同；客车主动安全；控制

**DOI：**10.64216/3080-1508.26.03.039

## 引言

智能交通系统向智能化、协同化转型的进程中，客车主动安全控制面临感知范围有限、复杂场景决策滞后、突发故障应对不足等现实挑战。传统安全控制技术依赖车载单一传感数据，难以满足全域环境感知与实时风险预判需求，而车路协同技术的成熟为这一困境提供了破解路径。基于此，研究以车路协同技术赋能客车主动安全控制为核心方向，通过构建全域感知体系、优化协同决策机制、完善故障应急响应流程，弥补传统技术短板，推动客车安全控制向精准化、协同化升级，为提升交通运行效率与安全防护水平提供有力技术支撑。

## 1 车路协同概述

车路协同作为智能交通系统的核心支撑模块，始终以车车、车路、车人及车网间的实时互通为核心导向；其不仅要打通交通参与主体间的信息壁垒，更要推动交通运作向智能化、协同化、高效化转型。该系统的核心目标清晰明确，既要显著提升交通安全防护水平，也要全面优化交通运行效率，更要有效降低能源消耗强度，最终为自动驾驶技术规模化落地筑牢基础。车路协同的技术框架已趋于完善，其中通信技术承担核心枢纽作用，感知设备发挥辅助支撑功能，数据平台提供坚实保障；正是依托这一架构，系统内各部分、各环节才能实现高效连接与深度互动。在实际交通场景中，车路协同可精准实现碰撞预警、盲区监测、异常事件快速处置等关键功能，既进一步强化了交通工具的行驶安全性，也切实推动了交通效率的优化升级。

## 2 客车主动安全控制概述

客车主动安全控制以实时规避行驶风险为核心诉

求，通过整合多元技术手段实时监测客车行驶状态与周边环境，主动介入驾驶操作全过程，全力预防事故发生。该体系不仅致力于提升车辆行驶的安全性与操控性，更注重优化驾乘环境的舒适性，从源头降低事故发生概率。客车主动安全技术以电子控制系统为核心中枢，深度融合传感器、执行机构与智能算法，可实现对车辆动态的精准把控。部署于客车车轮、转向系统、制动系统等关键部位的传感器网络，能持续采集车速、转速、转向角度、加速度等核心数据，为控制系统决策提供全面依据；执行机构则依据系统指令，精准干预制动系统、发动机、转向系统，通过调整制动力度、限制发动机输出扭矩、修正转向角度等具体动作落实控制需求；而这一系列控制过程均需依托智能算法，该算法基于车辆动力学模型与实时采集数据，通过深度分析判断车辆行驶状态，精准预测潜在风险，最终生成最优控制策略。

## 3 车路协同赋能客车主动安全控制的核心应用

### 3.1 全域感知增强技术：破解车载传感器感知局限

客车主动安全控制对环境指标与物理参数的全面搜集、精准把控提出了严苛要求，而车路协同技术恰好为这一需求提供了有效解决方案，实现了全方位数据采集与深度整合。要充分释放车路协同在客车主动安全控制中的应用价值，须推动两者深度融合，依托全域感知技术构建完善的数据采集体系。

#### 3.1.1 数据采集

在实践推进中，相关单位需搭建车路协同融合感知框架，该框架以车载传感器采集的基础数据为核心，通过高精度传感器网络实时捕捉车辆自身状态与近距离环境信息；同时以路侧感知单元为扩展延伸，部署涵盖

激光雷达、毫米波雷达、高分辨率摄像头的多模态传感阵列，这些设备通过分布式布局，全面覆盖车载传感器无法触及的远距离区域或遮挡区域，构建起立体感知网络。车载端与路侧端通过标准化通讯协议实现实时交互，在边缘计算节点完成路侧感知数据与车载数据的时空对齐与特征融合，最终生成覆盖全域的动态环境模型，为客车主动安全控制提供无盲区感知输入。

例如，某客运企业在运营线路的高速公路长下坡路段（坡度3.5%，长度4.2公里）部署全域感知增强系统，该路段弯道密集且存在多处山体遮挡区域，传统车载传感器在弯道处探测盲区达35米。技术实施团队在该路段按1公里间距部署3组路侧传感阵列，每组阵列的激光雷达最大探测距离设置为250米，毫米波雷达刷新率提升至60Hz；客车行驶过程中，车载传感器实时采集自身车速（85km/h）、制动压力（0.6MPa）及近距离（50米内）车辆分布信息，路侧传感阵列捕捉到弯道后方120米处一辆货车（车速60km/h）及弯道内侧20米处的施工锥桶（共8个，间距5米）。

### 3.1.2 多元数据协同处理

全域感知增强技术的核心在于建立多元数据协同处理机制，该机制首先着力完善数据统一整合，通过车载GPS与路侧RTK定位系统的高精度同步，确保车载与路侧数据在时间戳和空间坐标上严格对齐，彻底消除时间延迟或空间偏差引发的感知误差；接着采用特征级融合算法对多元数据深度解析，借助深度学习模型提取车辆、行人、障碍物等目标的运动特征与语义信息，通过注意力机制动态分配不同传感器权重，充分发挥路侧激光雷达在远距离检测中的优势；最后针对A柱遮挡、夜间灯光照度低等车载传感器固有盲区，设计专属盲区补偿模型，利用路侧感知数据填补盲区信息，并依托历史数据训练提升模型泛化能力，确保其在复杂场景下仍能稳定输出完整感知结果，为客车主动控制与安全管理提供连续可靠的环境感知支撑。

例如，先完善数据统一整合环节，技术人员需完成车载GPS与路侧RTK定位系统的参数校准，确保GPS定位精度 $\leq 2$ 米、RTK定位精度 $\leq 5$ 厘米，通过时间同步协议实现两者高精度同步，彻底消除时间延迟或空间偏差引发的感知误差；接着采用基于Transformer的特征级融合算法对多元数据深度解析，借助深度学习模型提取车辆、行人、障碍物等目标的运动特征（加速度、航向角）与语义信息（目标类型、尺寸），通过注意力机制动态分配不同传感器权重，其中路侧激光雷达在远

距离（100-300米）检测中的权重设置为0.6，车载摄像头在近距离（ $\leq 50$ 米）目标识别中的权重设置为0.5。

## 3.2 协同决策与规划模块：提升复杂场景控制精度

### 3.2.1 数据分析与特征提取

协同决策与规划技术以多元信息融合与状态精准评估为核心导向，在实践应用中，相关单位需以车路协同系统为数据中枢，结合前文所述全域感知采集的多维数据，全面做好车辆与环境状态的实时分析与动态把控。在这一环节，相关单位可采用分层融合算法处理多元数据：底层通过卡尔曼滤波或粒子滤波算法消除传感器噪音，保障数据基础可靠性；中层借助特征提取网络提取车辆、行人、障碍物的运动特征，强化数据核心价值；顶层基于贝叶斯网络或D-S证据理论对不同传感器置信度加权计算，生成统一的环境状态评估模型。该模型需经过实时性校验，确保状态评估延迟低于客车主动安全控制系统响应阈值，为后续协同决策提供精准环境输入。

例如，底层数据预处理环节需启用卡尔曼滤波算法消除传感器噪音，滤波系数设置为0.05，确保车速数据误差 $\leq 0.5$ km/h、距离测量误差 $\leq 1$ 米，保障数据基础可靠性；中层借助卷积神经网络（CNN）特征提取网络提取车辆、行人、障碍物的运动特征，网络输入为 $64 \times 64$ 像素的目标图像，输出128维特征向量，强化数据核心价值；顶层基于贝叶斯网络对不同传感器置信度加权计算，激光雷达、毫米波雷达、摄像头的初始置信度分别设置为0.8、0.7、0.6，通过迭代计算生成统一的环境状态评估模型。该模型需经过实时性校验，采用毫秒级计时器监测评估延迟，确保状态评估延迟 $\leq 100$ 毫秒，低于客车主动安全控制系统150毫秒的响应阈值，为后续协同决策提供精准环境输入。

### 3.2.2 协同决策与规划

协同决策与规划技术的应用须构建动态风险场域模型并科学分配决策优先级，动态风险场域模型以客车当前位置为中心，结合环境状态评估结果，通过核密度估计或高斯过程回归方法量化周边目标潜在风险值，其输入参数涵盖目标速度、加速度、与客车轨迹偏移量等核心指标；随后采用多目标优化算法对风险场域全域分析，结合最小制动距离、最大转向角等客车安全约束条件生成帕累托最优解集；最后通过决策优先级分配模块筛选最优解集，该模块引入模糊逻辑或层次分析法，综合考量风险值、目标类型、交通规则等关键因素，最终确定制动强度、转向幅度等具体控制指令，确保复杂场

景下决策的合理性与时效性。

例如,在上述实践中,客车启动制动系统并小幅转向,制动压力从0.5MPa提升至0.8MPa,车速从35km/h降至10km/h,在距离行人3米处平稳停下,同时路侧系统通过语音播报设备提醒电动三轮车与小型轿车减速避让,整个过程无乘客明显不适,也未与其他目标发生冲突。该案例中,协同决策模块的决策延迟为95毫秒,目标识别准确率100%,风险量化误差 $\leq 0.05$ ,验证了复杂路口多目标协同决策的精准性与时效性。

### 3.3 故障预警与应急协同控制技术:化解突发故障安全风险

#### 3.3.1 故障分析

在客车运行过程中,主动安全管理的重要一环是有效应对各类故障问题,故障预警与应急协同控制技术的核心价值便在于构建多维度故障特征提取与实时监测体系。该体系以车路协同控制为支撑,依托车载传感器网络与路侧检测设备,结合前文整合的全域数据,通过算法模型精准提取故障特征;同时借助实时性校验模块保障故障特征提取延迟低于客车主动安全控制响应阈值,为后续预警与协同控制提供精准故障分析。

#### 3.3.2 预警信号设定

在实时监测体系基础上,故障预警与应急协同控制技术需以分级预警值设定与动态调整为核心导向,分级预警值设定需以故障类型为分类依据,工作人员结合客车安全规范与历史故障数据,通过统计分析方法确定不同故障类型初始阈值,例如制动压力低于正常值20%为一级预警、低于40%为二级预警;随后引入环境补偿因子对阈值动态修正,该因子综合考量路况、天气等环境因素,通过模糊逻辑或神经网络模型实时计算环境对故障阈值的影响程度;最后通过阈值验证模块校验动态调整后的阈值,确保其在复杂场景下精准触发预警,例如湿滑路面下适当放宽制动压力阈值以避免误导,为应急协同控制提供可靠预警信号。

例如,引入环境补偿因子对阈值动态修正,该因子综合考量路况(柏油路1.0、水泥路1.1、砂石路1.2、湿滑路1.3)、天气(晴天1.0、阴天1.1、雨天1.2、雪天1.4)等环境因素,通过BP神经网络模型实时计算环境对故障阈值的影响程度;最后通过阈值验证模块校验动态调整后的阈值,采用仿真测试与实车验证相结合的方式,确保其在复杂场景下精准触发预警,例如湿滑路面下制动压力一级预警阈值调整为0.45MPa、二级预警阈值调整为0.33MPa,避免误导,为应急协同控制提供

可靠预警信号。

#### 3.3.3 预警控制

故障预警与应急协同控制的最终执行需以应急控制策略库与协同执行流程为导向,应急控制策略库以故障类型与预警等级为索引,预先存储经仿真优化与专家评估的各类场景控制策略,例如一级预警启动制动系统强化防护、二级预警强制降速保障安全;当预警信号触发时,协同控制模块根据当前故障类型与预警等级,从策略库中匹配最优控制策略,通过车路通信接口将控制指令同步发送至车载执行机构与路侧系统设备;同时建立实时反馈机制动态监测控制效果,若控制效果未达预期则立即启动策略迭代程序,根据反馈数据调整策略参数,确保突发故障下客车始终维持可控状态。

例如,应急控制策略库以故障类型与预警等级为索引,预先存储经仿真优化与专家评估的各类场景控制策略,策略参数量化至具体数值,例如制动系统一级预警启动制动系统强化防护,将制动助力系数提升至1.2,制动响应时间缩短至0.2秒;二级预警强制降速,降速速率设定为 $2\text{m/s}^2$ ,目标车速降至30km/h以下保障安全;转向系统一级预警启动转向助力补偿,助力扭矩增加20%;二级预警限制转向角 $\leq 10^\circ$ ,同时强制降速至20km/h。

## 4 结束语

总体来说,车路协同与客车主动安全控制的深度融合,通过多维度技术创新突破了传统安全控制的技术瓶颈,其核心应用不仅验证了全域感知、协同决策等技术的实践可行性,更构建了全链条协同的安全控制框架。该研究成果为客车安全技术升级提供了全新思路,也为智能交通系统的完善注入了关键动力。

### 参考文献

- [1]刘智超,周炜,李文亮,等.营运客车失控事故应急主动防控技术[J].公路交通科技,2023,40(S2):393-400.
- [2]黄文青,陈凌珊.城市客车低速碰撞缓解系统设计[J].农业装备与车辆工程,2021,59(11):99-103.
- [3]谢张军,曾义超,蔡鹏飞.营运客车安全标准测试应用研究[J].质量与标准化,2021,(08):41-44.