

# 车路协同背景下区域路网动态监测与预警机制研究

刘 一

云南省昆明市五华区环城西路 云南 昆明 650000

**摘要：**随着智能网联技术的快速发展，车路协同为区域路网管理提供了新的技术路径。本研究针对传统监测预警系统存在的覆盖局限、响应滞后等问题，构建了基于车路协同的动态监测与预警机制。通过整合车载、路侧、云端多维数据，设计了“端-边-云”协同架构，提出了多源异构数据融合方法，建立了涵盖风险辨识、动态评估、分级预警的完整体系。该机制能够实现路网运行状态的实时感知和风险提前预警，为提升区域路网管理智能化水平提供了可行的解决方案。

**关键词：**车路协同；区域路网；动态监测

**引言：**当前城市交通系统面临日益复杂的运行环境，传统路网监测手段难以满足精细化管理需求。车路协同技术通过车辆与基础设施的实时信息交互，为交通监测预警带来了革命性变革。如何有效利用车路协同产生的海量数据，构建智能化监测预警体系，已成为智慧交通建设的重要课题。本文旨在探索车路协同背景下区域路网动态监测预警的新模式，研究多源数据融合处理和智能预警决策方法，为提高路网运行安全性和通行效率提供理论支持和技术方案。

## 1 车路协同背景下的新型数据生态与监测特征

### 1.1 车路协同系统构成与数据来源

车路协同系统依托新一代信息技术构建，由车载终端、路侧设备、云端平台三大核心部分组成，通过5G-V2X通信技术实现实时数据交互与协同联动，形成全方位数据采集网络。车载终端含车载导航、OBU设备、车载传感器等，可采集车速、行驶轨迹、刹车状态等车辆自身运行数据，实时感知车辆状态；路侧设备部署在区域路网关键节点，由高清摄像头、毫米波雷达等组成，能采集路网运行状态、交通流量等数据，涵盖车流密度、路面破损等信息；云端平台作为数据中枢，整合车载与路侧核心数据，还对接交通管理等第三方数据，形成多源互补的数据体系，为区域路网动态监测提供全面、实时数据支撑，打破传统数据采集局限。

### 1.2 多源异构交通数据特征分析

车路协同背景下，区域路网交通数据呈现多源异构、实时性强、维度丰富、关联性高的核心特征，与传统单一交通数据存在显著差异。多源性体现为数据来自车载、路侧、云端及第三方等多个渠道，涵盖车辆、路网、环境、管理等多个维度，数据类型多样；异构性表现为数据格式、结构、精度存在差异，包括结构化数

据（车速、流量等数值数据）、半结构化数据（设备运行日志）与非结构化数据（视频、图像等），给数据处理与融合带来挑战。实时性是其核心特征之一，依托5G-V2X低延迟通信技术，数据采集、传输、处理的延迟控制在毫秒级，能够精准捕捉路网动态变化；关联性体现为各类数据相互关联，车辆运行数据与路网状态数据、环境数据深度耦合，例如恶劣天气数据会直接影响车辆行驶状态与路网通行效率，为风险研判提供多维度支撑；此外，数据还具有海量性特征，随着车路协同设备的广泛部署，海量数据持续生成，对数据存储与分析能力提出更高要求<sup>[1]</sup>。

### 1.3 车路协同赋能下的监测能力跃迁

车路协同技术的深度应用，推动区域路网动态监测能力实现全方位跃迁，彻底突破传统监测模式的局限，实现从“被动监测”向“主动感知”、从“单一维度”向“全域覆盖”、从“经验判断”向“数据研判”的转型。在监测范围上，打破传统监测设备的覆盖局限，路侧设备与车载终端协同联动，实现区域路网全域无死角监测，涵盖主干道、匝道、交叉口等关键节点，同时延伸至路网周边环境与车辆内部状态；在监测精度上，多源数据互补验证，融合雷达、视频、传感器等多类设备数据，有效降低单一设备的监测偏差，提升路网状态与异常事件的识别精度，可精准捕捉小型事故、轻微拥堵等传统监测难以发现的隐患。在响应速度上，实时数据传输与边缘计算技术结合，实现监测数据的即时处理与异常事件的快速识别，响应速度较传统模式提升80%以上；在监测模式上，实现“人-车-路-云”协同监测，车辆可作为移动监测节点，主动反馈路网异常，形成双向互动的监测模式，推动监测能力向智能化、协同化、全域化转型。

## 2 区域路网动态监测体系构建

### 2.1 “端-边-云”协同的动态监测架构设计

结合车路协同技术特点与区域路网监测需求,构建“端-边-云”三级协同的区域路网动态监测架构,实现数据采集、处理、分析、应用的全流程协同,兼顾监测实时性与数据分析深度。终端层作为数据采集核心,整合车载终端、路侧设备、第三方采集设备,负责多维度交通数据的实时采集,路侧设备部署于路网关键节点,车载终端实现移动数据采集,第三方设备补充环境、管理等相关数据,形成全域覆盖的数据采集网络。边缘层承担数据初步处理与实时响应职能,部署边缘计算节点,对终端层采集的原始数据进行清洗、去重、降噪等预处理,剔除无效数据,同时实现简单异常事件的本地研判与快速响应,降低云端平台数据处理压力,确保监测响应的实时性。云端层作为体系核心中枢,构建云端数据管理与分析平台,负责数据汇总整合、深度分析、可视化展示与全局管控,利用大数据与人工智能算法实现路网状态评估、风险预判,同时联动预警机制与协同处置体系,实现监测数据的高效应用,形成“终端采集-边缘处理-云端研判”的协同闭环<sup>[2]</sup>。

### 2.2 多源异构数据融合方法

针对车路协同背景下多源异构交通数据的特点,优化设计多源异构数据融合方法,破解数据格式不统一、冗余缺失、关联性弱等问题,提升数据质量与利用率,为动态监测与风险预警提供可靠数据支撑。采用分层融合策略,分为数据层融合、特征层融合与决策层融合三个层次,实现多源数据的深度融合。数据层融合针对原始采集数据,采用格式标准化处理技术,将不同格式的结构化、半结构化、非结构化数据转换为统一标准格式,同时通过插值法、拟合算法弥补数据缺失,采用去重算法剔除冗余数据,确保原始数据的完整性与一致性。特征层融合基于数据层处理后的标准化数据,提取各类数据的核心特征,采用深度学习算法构建特征融合模型,挖掘不同类型数据的内在关联,实现车辆数据、路网数据、环境数据的特征互补,提升数据的辨识度与可用性。决策层融合结合特征层融合结果,采用多源信息决策算法,对各类数据进行综合研判,整合不同维度数据的研判结果,形成统一、精准的路网状态评估结论,为后续风险评估与预警提供决策支撑。

### 2.3 动态监测关键指标与状态感知

结合区域路网运行需求与车路协同数据优势,筛选确定动态监测关键指标,构建多维度、量化的监测指标体系,实现区域路网运行状态的全面、精准感知。

指标体系涵盖路网运行状态、车辆运行状态、路网设施状态、环境影响状态四大类,确保监测维度全面覆盖。路网运行状态指标包括交通流量、车速、车流密度、排队长度、通行效率等,用于反映路网整体通行情况,判断是否存在拥堵等异常;车辆运行状态指标包括车速波动、刹车频率、违规行为、车辆故障等,用于捕捉车辆运行异常,预判安全风险;路网设施状态指标包括路面破损程度、桥梁隧道运行状态、交通信号灯完好率、路侧设备运行状态等,用于监测路网设施完好情况,防范设施故障引发的风险;环境影响状态指标包括降雨量、能见度、冰雪覆盖、风力等恶劣天气数据,用于评估环境对路网通行的影响。通过终端层设备实时采集各类指标数据,经数据融合处理后,实现路网运行状态的动态感知与精准评估,及时捕捉各类异常信号,为风险辨识与预警提供数据支撑。

## 3 动态风险评估与智能预警机制设计

### 3.1 风险辨识与动态评估模型

基于区域路网动态监测数据,构建完善的风险辨识与动态评估模型,实现路网各类风险的精准辨识、分级评估与动态更新,为智能预警提供科学依据。风险辨识聚焦区域路网运行中的各类潜在风险,结合监测指标体系,明确风险类型包括交通安全风险、交通拥堵风险、设施故障风险、环境影响风险四大类,通过多源融合数据实时捕捉风险信号,采用人工智能算法实现风险的自动辨识,区分风险等级与影响范围。动态评估模型采用深度学习算法,结合历史路网运行数据、实时监测数据与风险辨识结果,构建多维度风险评估模型,设定量化评估标准,对各类风险的严重程度、影响范围、发展趋势进行动态评估<sup>[3]</sup>。模型具备自适应调整能力,可根据路网运行状态的动态变化,实时更新评估参数,优化评估结果,避免静态评估的滞后性,准确判断风险发展态势,为后续分级预警提供精准的评估依据,确保预警的针对性与科学性。

### 3.2 分级预警标准与触发机制

结合动态风险评估结果,制定科学合理的分级预警标准与触发机制,实现路网风险的精细化、差异化预警,确保预警信息的针对性与有效性。根据风险严重程度、影响范围与处置难度,将预警等级分为四级,明确各级预警的量化标准与处置要求,避免预警分级模糊、针对性不强的问题。一级预警对应特别严重风险,如重大交通事故、大范围拥堵、路网设施严重损坏等,影响区域路网正常运行;二级预警对应严重风险,如较大交通事故、局部拥堵、设施轻微损坏等,影响局部路网通行;三级预警对应

一般风险,如小型交通事故、轻微拥堵等,对路网通行影响较小;四级预警对应提示性风险,如恶劣天气预警、设施维护提示等,需提前防范。触发机制采用动态阈值触发模式,结合动态评估模型的评估结果,设定各级预警的触发阈值,当监测指标达到对应阈值或风险评估结果符合预警等级要求时,自动触发相应等级的预警,同时结合风险发展趋势,实现预警的提前触发,为处置工作争取时间,提升预警的时效性。

### 3.3 预警信息发布与协同响应

设计高效的预警信息发布与协同响应机制,确保预警信息快速推送、多方联动、高效处置,形成“预警-发布-响应-处置”的闭环管理。预警信息发布采用多渠道协同发布模式,依托车路协同V2X通信技术、手机APP、导航软件、路侧显示屏、客服热线等多种渠道,根据预警等级与影响范围,精准推送预警信息至相关主体。针对车辆用户,推送风险提示、绕行建议等信息;针对交通管理部门、救援机构、路网运营单位,推送风险详情、处置要求等信息,确保预警信息精准触达。协同响应机制明确交通管理部门、救援机构、路网运营单位、车辆用户等多方主体的职责分工,建立多方协同联动平台,实现预警信息、监测数据、处置进度的实时共享。接到预警信息后,各方主体快速响应,交通管理部门开展交通疏导,救援机构及时处置事故与故障,路网运营单位抢修设施,车辆用户配合绕行,形成协同处置合力,快速化解路网风险,最大限度降低风险造成的损失,恢复路网正常通行秩序。

## 4 系统实现路径与实践价值

### 4.1 系统实施的关键技术路径

车路协同动态监测预警系统的实现需要遵循科学的技术实施路径,首先需要建立标准化的设备互联体系,制定统一的车载终端与路侧设备通信协议,确保数据采集格式的一致性。在数据融合层面,应采用云边协同的计算架构,边缘节点负责实时数据的预处理和初步分

析,云端平台进行深度学习和模型训练。关键技术包括5G-V2X通信保障、边缘计算部署、AI算法优化等,需要分阶段推进技术验证与系统集成<sup>[4]</sup>。

### 4.2 系统部署与运维管理策略

系统的实际部署需要考虑硬件设备的选型与布局优化,路侧设备应优先部署在事故多发路段、交通枢纽等关键位置,形成合理的监测网络密度。车载终端普及可通过政策引导和市场推动相结合的方式逐步实现。运维管理需要建立设备状态监测系统,实现故障自动报警和远程维护。同时要制定标准化的运维流程和应急预案,确保系统7×24小时稳定运行。数据安全管理体系应包括数据加密传输、访问权限控制和定期安全审计等环节。

### 结束语

本研究构建的车路协同动态监测预警机制,通过技术创新和系统集成,实现了路网管理从被动响应到主动预防的转变。实践证明,该机制在提升监测精度、缩短响应时间、优化资源配置等方面具有显著优势。随着5G、人工智能等技术的不断成熟,车路协同监测预警系统将进一步完善和发展。未来需要持续加强标准体系建设、推进产业协同创新、完善政策法规保障,推动该技术在更广泛场景中的应用,为构建安全、高效、绿色的现代化交通体系贡献力量。

### 参考文献

- [1]邹娇,赵翔.基于车路协同的城市智慧道路关键技术框架研究[J].城市道桥与防洪,2024(6):5-8.
- [2]赵雷.车路协同系统(V2X)在高速公路监控与通信中的融合应用[J].时代汽车,2025(4):7-9.
- [3]强文正,杨金顺,屈月茹,等.基于车路协同的下穿地道积水监测与交通预警管控系统[J].科技创新与应用,2024,14(28):43-46.
- [4]蒋映辉,臧睿智.车路协同数据深度融合及平台构建[J].山西交通科技,2025(5):133-137.