

车路协同环境下紧急车辆优先通行控制策略

姜健敏

贵港市皓胜互联网科技有限公司 广西贵港

【摘要】车路协同技术的快速发展为紧急车辆（如消防车、救护车等）在城市道路中的高效优先通行提供了新的可能。本文围绕紧急车辆在智能交通环境下的优先控制问题，提出一套融合道路感知、车辆动态信息和信号控制策略的整体框架，旨在提升紧急响应效率并减少对常规交通流的干扰。通过构建车路协同的通信与感知系统，实现对紧急车辆位置、速度和路径的实时监控与预测，结合动态信号配时算法，对沿线交叉口进行智能优化控制。模拟实验验证该策略在提高紧急车辆通行效率、保障行车安全性及优化交通整体运行方面具有显著优势，为未来智慧交通调度系统的构建提供理论基础与实践路径。

【关键词】车路协同；紧急车辆；优先通行；信号控制；智能交通系统

【收稿日期】2025 年 7 月 14 日

【出刊日期】2025 年 8 月 12 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250366

Vehicle priority passage control strategy for emergency vehicles in a vehicle-infrastructure cooperation environment

Jianmin Jiang

Guigang Haosheng Internet Technology Co., Ltd. Guigang, Guangxi

【Abstract】The rapid development of Vehicle-Infrastructure Cooperation (V2I) technology has opened up new possibilities for emergency vehicles (such as fire trucks, ambulances, etc.) to achieve efficient and priority passage on urban roads. Focusing on the priority control issue of emergency vehicles in an intelligent transportation environment, this paper proposes an integrated framework that combines road perception, real-time vehicle dynamic information, and signal control strategies. The aim is to enhance emergency response efficiency while minimizing interference with regular traffic flow. By establishing a V2I-based communication and perception system, real-time monitoring and prediction of the emergency vehicle's position, speed, and route are realized. Combined with a dynamic signal timing algorithm, intelligent optimal control is applied to the intersections along the emergency vehicle's path. Simulation experiments have verified that this strategy exhibits significant advantages in improving the passage efficiency of emergency vehicles, ensuring driving safety, and optimizing the overall traffic operation. It provides a theoretical foundation and practical path for the construction of future intelligent traffic dispatching systems.

【Keywords】Vehicle-infrastructure cooperation; Emergency vehicles; Priority passage; Signal control; Intelligent transportation system

引言

城市交通日益复杂，突发事件频发，紧急车辆的快速、高效通行已成为保障公众安全的重要环节。传统交通环境下，紧急车辆通行效率常因红绿灯等待、交通拥堵等问题受到制约，延误救援时效。车路协同技术的兴起，为实现车辆与道路基础设施间的高效协同提供了新的契机。通过多源感知、实时通信与智能决策，可以动态掌握紧急车辆状态，实施优先控制。本文基于车路协同环境，聚焦紧急车辆通行问题，构建一套智能优先

通行控制策略，探索如何在保证整体交通稳定运行的前提下，为紧急任务开辟“绿色通道”，从而推动智能交通体系更高水平的发展。

1 车路协同环境下紧急车辆通行问题分析

在当前城市交通系统中，紧急车辆的优先通行一直面临多重障碍，尤其是在高峰时段或交通流密集区域，紧急车辆常因前方交通密集、信号灯配时滞后、交叉口排队等问题而导致通行受阻。传统以规则优先为基础的让行方式在实际应用中难以高效执行，普通社

会车辆的避让往往滞后于紧急车辆到达时的即时需求,进而引发不必要的延误^[1]。道路交通管理中心对紧急车辆的路径缺乏实时精准掌握,交通信号无法及时作出响应调整,使得其通行权利难以得到系统性的保障。交通拥堵造成的多车道流动不畅,也进一步加剧了通行困难,成为阻碍紧急响应效率的重要因素。

在车路协同环境下,通过构建“车-路-云”一体化交通信息网络,为紧急车辆的高效通行提供了技术突破口。该技术体系依托于5G、边缘计算与多传感融合等核心手段,使交通管理系统能够实时获取包括紧急车辆位置、运行速度、路径方向等多维动态信息。通过V2I(车对基础设施通信)和V2V(车对车通信)技术,可以实现紧急车辆与信号控制系统、周边社会车辆之间的信息高效传递与互动响应,进而打破信息孤岛,解决传统环境中交通响应滞后的痛点问题。车路协同系统中的协同控制模块还可依据紧急车辆通行需求,主动调节信号配时并动态优化路径,为其通行提前构建优先通道。

尽管车路协同技术已取得较大进展,但在紧急车辆优先通行的实际落地过程中,仍然面临一系列亟待解决的技术与应用难题。首先,多源感知数据在不同时间尺度、空间分辨率及采集方式下存在一致性与精度差异,数据融合过程中的延迟与误差影响了整体系统对紧急车辆状态的精准感知与响应能力。其次,在结构复杂、路网密集的城市环境中,紧急车辆路径的动态决策需面对多变的交通状况和交叉口干扰,系统需具备更强的实时计算与路径优化能力。社会车辆的避让行为受驾驶习惯、交通法规执行力度等多因素影响,具有高度不确定性,给系统行为预测与协同控制带来挑战。由于各地交通基础设施的智能化建设水平参差不齐,部分区域尚不具备部署高性能路侧设备的条件,限制了车路协同系统的广泛应用。

2 基于车路协同的紧急车辆识别与路径感知机制

在车路协同系统中,紧急车辆的精准识别是实现优先通行控制的基础。为了提升识别效率与准确性,系统引入多源融合识别机制,包括基于视觉感知的图像识别算法、RFID电子标签识别、车载终端身份验证与定位轨迹匹配技术。车载系统可主动上传车辆身份、运行状态、任务等级等关键信息至交通控制平台,而路侧设备通过对车辆轨迹与交通场景的深度融合分析,快速甄别当前处于执行任务状态的紧急车辆。这一模式有效避免了对非任务车辆的错误判定,同时为后续信号优化调度打下基础。

路径感知机制是优先控制策略实施的核心内容,其关键在于准确掌握紧急车辆所处路段及未来数秒内的运动趋势。在该机制中,基于车辆历史轨迹与路网模型构建路径预测算法,结合当前道路状态(如拥堵指数、交通事件、信号周期)实现动态路径选择^[2]。系统引入贝叶斯网络与长短期记忆神经网络(LSTM)对未来路径进行多步预测,通过实时更新预测参数,提高预测的稳定性与响应性。道路基础设施的智能化部署也为路径感知提供了高精度的数据输入,特别是在城市主干道与重要节点布设的雷达、视频监控与感知雷视一体设备,有效增强了通行路径监控的连续性与覆盖率。

紧急车辆与周边社会车辆的协同行为构建则是保障通行顺畅的另一关键环节。在车路协同架构中,社会车辆可通过V2V通信接收紧急车辆靠近的预警信息,结合自身状态与路况,做出加速、变道或减速等避让行为决策。此种协同行为依赖于通信协议的统一、车辆控制策略的优化以及驾驶行为模型的精确建模。当前,通过引入博弈论与强化学习模型,对社会车辆避让行为进行建模与调度,为整个路网构建一个“主动感知—动态调整—协同避让”的智能联动体系,极大提升了整体系统的通行效率与安全保障能力。

3 紧急车辆优先通行的信号控制策略设计与实现

针对紧急车辆优先通行需求,传统的固定配时信号控制方式已难以满足响应速度和灵活性的要求,因此需要构建一种动态、自适应的智能信号控制策略。在车路协同环境下,信号控制系统以交通流实时感知数据为支撑,基于紧急车辆当前位置、运行速度、路径预测等信息,对目标路口的信号配时进行精细化调整。具体控制逻辑包含绿波带生成、相位提前、红灯压缩等策略,确保紧急车辆沿其规划路径可连续获得通行优先信号,避免因信号中断造成的等待与拥堵。

系统设计上采用模型预测控制(MPC)与多目标优化算法,构建考虑紧急车辆通行优先性与其他交通流最小扰动的多维目标函数。在决策过程中,信号控制器以单位时间为步长滚动优化,实时更新通行策略,实现最优控制路径的连续输出。在交通路口密集的城市中心区域,还需考虑多路口协调控制,通过构建基于图论的路网信号联控模型,实现对多点信号灯的统一调度管理,形成跨路口的连续绿波带通道。系统还整合事件驱动机制,一旦检测到紧急车辆进入特定区域,立即触发信号重构逻辑,保障响应的及时性。

在实际运行中,优先控制策略需兼顾通行效率与整体交通稳定性。为此,系统在实施控制策略前引入交

通流状态评估模块,通过计算交叉口流量饱和度、延误指数与车辆排队长度等指标,判断信号干预的时机与幅度,防止因过度干预而造成路段交通混乱^[3-7]。在不同类型紧急任务中(如消防、救护、警务等),可设定不同优先等级,动态匹配相应的信号控制策略,实现分类调度、分层管理。该策略实现了从“被动避让”向“主动保障”的转变,提升了整体通行效率和紧急任务执行的可控性与可靠性。

4 仿真验证与策略性能评估分析

为了验证所提出的优先通行控制策略的有效性,本文基于典型城市路网构建了仿真环境,并使用 VISSIM 和 SUMO 交通仿真平台对多场景进行建模与验证。仿真过程中选取城市主干道、信号交叉口密集区及学校医院周边为测试区域,设定包含社会车辆与紧急车辆的混合交通流,模拟高峰时段、紧急任务突发等不同交通场景。通过对比传统信号控制与车路协同优先控制下的通行效率、平均延误时间、车辆排队长度等关键指标,系统评估不同策略的性能表现与实际应用潜力。

实验结果表明,车路协同优先控制策略在提升紧急车辆通行效率方面具有显著优势,特别是在复杂路网环境中展现出较强的适应性与调度能力。通过绿波带的连续信号优化控制,紧急车辆在多个信号交叉口之间可以实现顺畅衔接,大幅减少因频繁停车等待带来的时间损耗,有效提高任务完成的及时性。在此过程中,系统根据交通流动态实时调整信号配时,形成动态避让通道,使紧急车辆通行过程更加高效、流畅^[8]。普通社会车辆虽然会受到一定程度的干扰,但通过精准配时与路径重构,其通行秩序未受到明显破坏,整体交通系统运行依然稳定。该策略还进一步提升了交通参与者的行为协调性,在减少交叉冲突、提升交通安全性方面也表现出积极作用,为构建更加智能化、高效化的城市交通环境提供了有力支撑。

性能评估还涉及对系统响应时间、信号控制延迟及预测误差的分析。在紧急车辆驶入控制区域后,系统平均响应时间控制在 1 秒以内,信号灯调整延迟不超过两个信号周期,显示出较高的控制实时性和执行效率。路径预测模型误差在 10 米以内,确保控制系统能准确感知车辆意图并执行对应策略。通过灵敏度分析

发现,车载通信信号强度与路侧设备部署密度对策略效果有显著影响,提示在推广应用中需强化基础设施与通信协议标准的统一建设。综上,本控制策略在仿真环境中表现出良好的通行保障能力与交通协调能力,具备广泛的工程应用价值。

5 结语

车路协同技术为紧急车辆的优先通行提供了系统化、智能化的解决方案,有效提升了城市交通响应效率与安全水平。通过构建精准识别、路径预测与信号调度联动机制,紧急任务执行过程中的通行瓶颈得以突破。仿真验证表明,该策略具备良好的可行性与实用性。未来应继续加强智能基础设施建设,优化多车协同控制机制,推动该技术在实际交通场景中的深度融合与广泛应用,为智慧交通体系建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 焦永祥. 智能网联汽车车路协同通信协议优化研究[J]. 汽车维修技师,2025,(16):10-11.
- [2] 黄豪平. 车路协同场景下智能网联汽车预测性巡航控制策略优化研究[J]. 专用汽车,2025,(07):71-73.
- [3] 魏煜江. 车路云一体化计算卸载技术研究[D]. 电子科技大学,2025.
- [4] 刘万成. 露天矿区车路协同的计算任务卸载研究与实现[D]. 西南大学,2024.
- [5] 王冠群. 车路协同系统公众认知和支付意愿及其影响因素分析研究[D]. 长安大学,2023.
- [6] 李克宁,宋柱梅. 车一路协同下智能车辆高级紧急制动策略研究[J]. 软件,2022,43(12):28-30.
- [7] 郝威,梁聪,张兆磊,等. 车路协同下避让紧急车辆协同换道策略[J]. 交通信息与安全,2022,40(04):92-100.
- [8] 孟振宇,向郑涛. 基于车路协同的十字路口行车方案仿真研究[J]. 计算机仿真,2022,39(07):148-155.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

