

AI Technology Empowers Optimization and Prospects Exploration of Intelligent Transportation Systems

Yachao Xin Weiwei Shang Weiyang Cheng

Unit 32137 of the People's Liberation Army, Zhangjiakou, Hebei, 075000, China

Abstract

With the rapid growth of China's vehicle ownership (surpassing 430 million units as of March 2025), traditional traffic governance models have become inadequate to address the compound challenges of "road supply-demand imbalance, escalating accident risks, and worsening energy consumption." This paper systematically explores the innovative pathways, applications, and prospects of AI technologies—including multimodal perception technology, deep reinforcement learning algorithms, and vehicle-road-cloud collaborative architecture—in urban traffic governance. The vehicle-road-cloud integrated architecture reduces energy consumption for autonomous vehicle platooning by 18%. Finally, the study proposes synergistic technical optimization pathways integrating federated learning frameworks and lightweight model deployment, alongside policy recommendations for legislative innovation and cross-departmental data sharing mechanisms. These proposals aim to address critical challenges in intelligent transportation systems, balancing technical feasibility with governance frameworks.

Keywords

multimodal perception; Deep reinforcement learning; Vehicle road cloud integration; Smart transportation governance

人工智能技术赋能智慧交通系统优化及前景探索

辛亚超 尚卫卫 程维应

中国人民解放军 32137 部队, 中国·河北 张家口 075000

摘要

随着我国机动车保有量急速增加(截至2025年3月已突破4.3亿辆),传统交通治理模式已难以应对“道路供需失衡、事故风险攀升、能源消耗加剧”的复合型挑战。本文系统探讨了多模态感知技术、深度强化学习算法和车路云协同架构等AI技术在城市交通治理中的创新路径、应用及前景。车路云一体化架构支撑自动驾驶编队行驶能耗降低18%。最后,进一步提出联邦学习框架与轻量化模型部署的协同技术优化路径,以及立法创新与跨部门数据共享的政策建议。本文为智慧交通系统建设的进一步深化提供系统性解决思路参考。

关键词

多模态感知; 深度强化学习; 车路云一体化; 智慧交通治理

1 引言：传统治理模式的失效与挑战

截至2025年3月,我国的汽车保有量已达4.3亿辆,特大城市通勤高峰拥堵指数普遍超过1.8,核心矛盾为:一,静态信号配时效率低下:固定周期信号灯的控制逻辑基于预设的交通流量模型,未能适应实时动态变化,导致约30%绿灯时间浪费^[1]。这种技术刚性源于传统治理对确定性规则的过度依赖,形成“静态性路径依赖”。二,人工决策响应滞后:传统事故处理流程依赖人工巡查与层级审批,平均响应时间长达15分钟。三,数据孤岛现象严重:交管与气象部门数据共享率不足20%,本质是“物理性孤岛”与“逻辑性孤岛”的双重叠加。因此,本文旨在探讨当下交通压力

剧增的情况下,如何利用人工智能技术(AI)打破传统交通治理模式,特别是从具体的应用案例出发,挖掘AI赋能智慧交通系统优化的有效方案,并展望未来智慧交通系统的进一步深化发展思路和前景,以期为我国交通治理的高效化提供参考。

2 AI技术的破局逻辑

AI赋能智慧交通系统的核心在于构建一个全时空、多维度、智能协同的交通管理生态,其中多模态感知技术、深度强化学习算法与车路云协同架构等技术构成了系统设计的几大核心要素,共同构成全智能化的“感知-决策-执行”闭环治理范式。

首先,多模态感知技术通过整合摄像头、雷达等多种信息获取设备,实现对交通环境的全方位感知。这种技术能够在不同视角和数据源之间进行信息融合,从而获得更精确

【作者简介】辛亚超(1991-),男,中国河北张家口人,本科,助理工程师,从事软件研发研究。

的路况、车辆行为、障碍物、气象等信息。通过对图像、声音、位置信息等多种模态数据的协同处理，系统可以更快速、准确地捕捉到交通流量变化、事故风险和道路异常情况，为后续决策提供坚实的数据基础。

进一步地，深度强化学习算法在智慧交通系统中扮演着智能决策者的角色。基于前端的感知数据，借助深度神经网络的强大特征提取能力和强化学习的策略优化机制，系统能够在复杂多变的交通场景中自主学习最优控制策略。算法可以与环境不断交互，从历史数据和实时反馈中凝练规律，逐步优化调度方案。这样的自我迭代和策略更新，使得系统在应对突发交通事件和动态调整路网管理时，能够实现主动预警和精准调度，从而大幅提高交通安全性和运行效率。

最后，车路云协同架构实现了车载终端、道路基础设施与云平台之间的无缝连接与数据共享。在这一架构下，车辆及道路传感器实时采集到的数据被上传至云端，通过大数据分析和智能计算形成全局态势感知，再由云平台下发优化指令给车辆或道路管理系统。此种协同不仅打破了单一系统的数据孤岛，也使得交通管理从“被动监控”向“主动协同”转变。通过云端统一调度、边缘计算加速响应有效缓解拥堵、优化资源配置，并提升应急处置能力。

综上所述，多模态感知技术为智慧交通系统提供了全面、精准的数据支持，深度强化学习算法赋予系统自主学习和实时决策的能力，而车路云协同架构则构建了一个数据共享与智能调度的整体网络。这三者相互融合与协同，推动了传统交通管理难题的突破，使其向高效、安全、绿色、智能化迈进。

3 多模态感知与强化学习协同创新技术应用

3.1 多模态感知系统的技术突破

海量信息的感知是智慧交通系统尽心决策的前提，因此多模态信息感知对于系统做出正确的决策至关重要。

激光雷达是当前实现多模态感知的一个重要前沿技术。桐乡全息路口项目通过激光雷达与高清摄像头协同，实现了多模态感知与深度学习技术的深度融合，全面提升智慧交通系统的监控与预警能力。该系统利用毫米级点云密度（误差 $<5\text{cm}$ ）和视觉语义分割数据，采用 Transformer 架构的跨模态注意力机制，实现点云与图像数据的时空对齐（时间戳误差 $<10\text{ms}$ ），构建了高精度车辆动态特征模型，从而通过轮胎形变监测预警超载车辆，实际运行中成功预警超过四百辆次超载货车，关联路段侧翻事故率同比下降 40%。通过激光雷达采集行人三维骨骼关节点轨迹（采样频率 20Hz）和视觉网络提取面部微表情特征，利用深度强化学习与因果图神经网络进行行人意图推理，将雨雾等复杂光照条件下的闯红灯行为预判准确率由 78% 提升至 92%。此外，在极端天气应对方面，该项目融合激光雷达雨滴散射特征（反射强度标准差 >0.15 ）与视觉传感器监测路面反光率变化（阈值

0.35-0.55），并借助 LSTM+Attention 的动态知识图谱构建积水演化预测模型，实测在梅雨季节提前平均 32 分钟预警 37 处道路积水点，为 62 个交叉口的信号配时调整提供了实时决策支持。

相控阵雷达作为当前信息光电子领域的前沿探测技术，也进入到智慧交通治理的视野当中，作为多模态感知技术起到了很有效的作用，形成了边缘计算的实时响应机制。合肥经开区部署的毫米波相控阵雷达系统集成了多项前沿技术，实现了交通管理的“柔性响应”与智慧交通系统的全面优化。

3.2 深度强化学习的决策优化

决策作为智慧交通系统实现优化的关键一步，同样需要不断地迭代其算法，使其轻量化、高效化，进而为后续系统执行操作提供精准的指令。

路口信号灯时间控制往往需要因交通流量的变化而动态调整，以下案例展示了信号灯动态配时算法对交通通行效率改善的典型案列。贵阳市观山湖区采用基于 Q-learning 算法的信号灯动态配时方案，实现了相位协同控制与潮汐车道优化两大突破：通过实时采集 31 个重点路口的车辆排队长度、转向比例和行人等待时间等数据，构建多智能体协同决策模型，利用信号相位差和周期时长作为调控变量，系统在南北向车流激增时自动延长绿灯 10 秒并同步调整上游路口，实现延误时间减少 15% 和早高峰车均延误下降 15%，且边缘计算节点确保 200 ms 级响应；同时，融合视频、地磁和浮动车轨迹数据实现潮汐车流识别精度提升至 80% 以上，在观山东路与长岭北路交叉口依据进向车流压力系数（0.75-1.32）动态调整可变车道方向，将利用率提升至近百分之九十，并通过百度地图 API 提前 500 米推送车道状态提示，使整体方案较传统人工调度效率提升两到三倍，为智慧交通系统优化提供了有力支撑。

4 车路云协同架构创新的验证与落地实践

4.1 车路云架构的构建与应用

车路云协同架构作为智慧交通系统的核心平台，通过将车辆、道路设施与云端数据中心有机连接，实现数据的高效采集、传输、处理与反馈，为交通管理提供全链路智能支持^[2]。在这一架构中，多模态感知技术虽被简化，但依然为车载与路侧传感器采集的实时交通数据提供了基础保障，而深度学习算法则在后台对这些数据进行智能分析，辅助决策制定，确保系统调控更为精准。通过这种综合平台，传统的交通管理模式得到全面升级，不仅提升了城市交通流量的均衡性，还为智慧交通系统的持续优化提供了坚实支撑。

4.2 车路云一体化的生态

车路云一体化生态正引领智慧交通全面升级，其核心在于实现车辆、道路与云端平台的高效协同，形成全链路智能管控体系。在北京市，通过《自动驾驶汽车条例》确立的人机共驾责任体系，实现了 L3 级系统失效后驾驶员在

10秒内接管,自动驾驶变道成功率提升至99.3%,紧急制动误触率下降至0.02%;同时,测试场景从机场接驳到地下停车场等八大场景开放,累计测试里程突破3000万公里,动态交通流模拟误差低,数据留存周期延长至90天,满足98.5%的事故认定需求。与此同时,成都双流区智慧灯杆项目通过车路云协同构建低空交通管理网络,集成C-V2X通信和边缘计算,实现无人机起降平台,医疗物资配送时间下降为原来的四分之一,深度强化学习与多模态感知优化路径规划使能耗降低42%,空域冲突率降至约9%,低空交通事故率降低37%,在暴雨应急演练中配送成功率超过百分之九十。这两大案例充分展示了车路云一体化架构在自动驾驶和低空交通管理中的应用,通过数据共享、实时决策与跨平台协同,为提升交通安全与运行效率提供了坚实支撑。

5 前景与挑战

5.1 当前技术瓶颈的突破路径

未来交通的复杂化、空间立体化,以及数据量的剧增,对数据隐私以及硬件处理信息的能力提出了新的要求。因此,隐私保护与计算效率的协同提升依旧是突破智慧交通系统性能优化的核心要点。在智慧交通领域,突破现有技术瓶颈的关键在于实现隐私保护与计算效率的协同提升。贵阳交通大脑平台通过构建分层联邦学习架构,采用本地差分隐私(LDP)技术对用户轨迹数据进行处理,确保单条轨迹的匿名性。同时,利用Paillier同态加密算法实现交通流量预测模型的分布式训练,参数传输量压缩至原始数据的23%。在观山湖区的实践中,该框架在保护40万用户隐私的前提下,使交通事故预测模型精度从82%提升至94%,信号配时优化效率提升12%。此外,清华大学类脑计算研究中心施路平教授团队研发的类脑计算芯片“天机芯”,通过脉冲神经网络(SNN)映射,将Transformer自注意力机制转化为脉冲时序编码,动态功耗相比NVIDIA芯片降低50.66%。近期升级的天眸芯每秒处理约1万帧图像,具有超过130dB的宽动态范围和10比特的高精度,满足车路云协同场景下的实时性需求。

5.2 政策与产业协同建议

为应对未来交通治理日益复杂化和智能化的需求,以下是智慧交通系统优化的政策和产业建议:首先,完善立法体系是关键。借鉴欧盟的“算法黑匣子”机制,建议强制在L3级以上自动驾驶车辆中安装事件数据记录器(EDR),

记录事故前30秒至后15秒的完整数据,并通过区块链技术确保数据不可篡改。同时,对高风险场景的深度强化学习算法实施差异化监管,要求公开决策逻辑,并推行“可信AI”认证机制,对违规系统可处以企业年营收4%的罚款。此外,结合中国《汽车事件数据记录系统》标准,构建事故场景数字孪生库,支持司法机构通过仿真复现判定责任比例,误差率应低于5%。其次,构建跨部门数据中台,以提升数据共享与协同治理能力^[1]。以江苏省“数畅工程”为蓝本,部署联邦学习框架,整合公安交管、气象微网格和城建BIM模型等多源数据,通过边缘计算实现毫秒级数据同步。在恶劣天气交通预警中,气象部门应提前2小时推送预警信息,交管部门联动调整高速公路限速,城建部门基于车流热力图动态优化信号灯配时,从而提升通行效率。同时,采用国密SM4算法加密敏感数据,建立三级权限控制,并通过“数据沙箱”支持科研机构合规调用脱敏数据。最后,鼓励公众积极参与交通治理。借鉴贵阳市的经验,整合多渠道反馈网络,如小程序、车载终端和路侧AI摄像头等,日均处理市民建议数百条,解决率达到91%。基于市民提交的数据,利用图神经网络识别交通拓扑关联性,制定“一点一策”的改造方案,例如通过取消公交专用道、增设潮汐车道等措施,使早高峰延误降低37%。此外,通过APP开设治堵进展专栏,展示拥堵指数下降、平均车速提升等实证数据,增强公众的参与感和获得感。通过以上措施的综合实施,智慧交通系统将朝着更加安全、高效和智能的方向发展。

6 总结

本文探讨了人工智能技术在智慧交通系统优化方面的最新进展。首先概述了人工智能赋能交通治理技术突破的逻辑,其次从多模态技术、深度学习算法开发和车路云协同创新架构等方面的应用实践分析了人工智能技术的实际效果。进一步地,文章展望并探讨了未来智慧交通系统的前景与挑战。本文将对未来人工智能技术进一步驱动智慧交通建设提供有价值的参考。

参考文献

- [1] 何承,李琳琳,沈煜.基于深度强化学习的城市交通信号动态控制优化研究[J].交通运输系统工程与信息,2024,24(2):45-53.
- [2] 杨程,黄傲,肖平.车路协同网络中多模态感知融合技术的应用与挑战[J].中国公路学报,2024,37(12):112-120.
- [3] 袁希一,刘斌.迁移学习在中小城市交通模型适配中的应用[J].人工智能与机器人研究,2024,15(1):34-42.