

智能交通系统中车路协同技术应用现状与发展趋势

钱 韧

云南云交科智慧园区科创产业发展公司 云南 昆明 650101

【摘要】：智能交通系统建设过程中车路协同技术的应用正不断拓展，通信、感知、控制各环节存在的技术缺陷使其难以形成规模化的应用效果，面对车路通信稳定性不够、多源感知融合精度不高、协同控制响应效率较低等状况，本文从资源配置、算法优化、模型升级等方面给出对应的优化思路，依托技术迭代增强通信效能、拓宽感知场景、完善控制体系，为车路协同技术在智能交通系统中的深度落地给予技术保障，助力智能交通系统朝着高效化、智能化方向持续发展。

【关键词】：车路协同；智能交通系统；通信技术；感知融合；协同控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.010

1 研究背景与应用现状

智能交通体系建设进程中，车路协同技术已然成为核心应用方向，现阶段我国完成了从概念提出到技术研发再到试点应用的阶段性跨越，道路基础设施智能化改造持续推进，路侧设备与车载终端的基础互联在部分示范区落地应用，可支撑交通信息共享、危险状态预警等初级协同功能^[1]。整体应用仍处于初始发展阶段，智能汽车网联化渗透率偏低，车路通信稳定性、多源感知融合精度等核心技术存在明显短板，协同控制响应效率与实际交通场景的适配性不足，核心协同功能应用范围有限，规模效应尚未形成，社会经济效益未能充分显现。

2 车路协同技术应用中的核心技术短板分析

2.1 车路通信技术稳定性不足

车路协同场景下车辆的高移动特征与道路环境的广域覆盖，对通信技术的实时性与连续性提出严苛要求，当前多模通信方案在实际应用中仍存在显著的稳定性短板，现有通信体系虽融合 DSRC、LTE-V、5G 等多种技术形式，不同通信模式的切换机制尚未实现无缝衔接，在城市建筑遮挡、隧道等复杂环境中易产生信号衰减，道路交通场景内各类无线信号相互交织，专用通信频段的资源配置缺少精细化设计，抗干扰能力偏弱，使得车车、车路之间的信息传输产生时延波动与丢包情况，难以满足协同感知、实时决策等核心功能对通信低时延、高可靠的基础需求，限制信息交互的精准程度与响应效率。

2.2 多源感知数据融合精度欠缺

交通环境协同感知依托车载传感器与路侧感知系统完成多源数据融合，当前这一环节精度仍难以适配复杂交通场景实际需求，车载感知设备运动状态与路侧设备固定部署带来数据采集时空差异，同构及异构传感器采集规范缺乏统一设定，使得原始数据具备异步性与异构性特征，现有数据融合方式针对数据级、特征级融合处理缺少定向优化，未能结合交通场景真实属性构建统一交通状态表征模型，面对超视距、复杂天气等场景感知数据处理能力有限，易产生感知误差与信息缺失，融合形成的交通状态信息难以精准还原真实路况，为后续协同决

策提供的基础数据支撑存在显著不足。

2.3 协同控制技术响应效率偏低

交通群体协同决策与控制是车路协同的核心应用环节，当前技术响应效率与实际交通动态性、复杂性适配度不足，道路交通场景由路口、匝道、路段组合而成，交通流呈现非线性、强耦合特征，现有控制决策模型多针对单一基础场景设计，缺乏对复合场景的适应性，泛在分布式与情景驱动动态集中式的结合机制不够灵活^[2]。交通状态感知到控制指令生成、传输、执行的全流程缺乏高效协同衔接，路权分配与轨迹规划的算法迭代速度滞后于交通流实时变化，控制指令生成存在时延，面对交通流突变、突发路况等场景时，无法实现快速响应与动态调整，难以达成交通群体的高效协同管控。

3 车路协同核心技术短板的优化路径

3.1 提升车路通信技术可靠性

3.1.1.优化通信频段资源配置

针对车路协同多模通信的频段使用痛点，需基于不同通信模式的技术特性和应用场景完成精细化的频段资源配置，构建适配交通场景的频段使用体系，结合 DSRC 专用短距通信、LTE-V 车规级通信、5G 广域通信的技术优势，为不同交通场景划定专属频段，在城市路口、匝道等交通密集区分配专用高频段保障 DSRC 的低时延通信需求，在城市路段、高速公路等广域场景规划 5G 与 LTE-V 的协同频段，满足大带宽、远距离的信息传输需求，建立动态的频段资源调度机制，根据交通流量、车辆移动速度等实时交通状态调整频段占用优先级，避免不同通信模式的频段冲突，提升频段资源的利用效率，统一车路通信频段的技术标准，实现车载终端与路侧设备的频段适配性兼容，消除不同设备、不同企业间的频段使用壁垒，让多模通信的频段切换更具流畅性，从底层资源分配层面保障车路通信的稳定性。

3.1.2.完善通信抗干扰技术

针对车路通信场景的无线信号干扰问题，需从信号传输、接收处理等多环节构建全方位抗干扰技术体系，提升复杂环境

下的通信可靠性，传输端采用跳频、扩频等抗干扰调制手段，对车路交互核心数据实施加密编码，保障有效信号突破环境干扰稳定传输，针对隧道、高架、建筑密集区等信号衰减场景，增设路侧信号中继设备增强信号覆盖，接收端优化车载与路侧设备的信号滤波算法，精准识别并过滤杂散干扰信号，提升有效信号提取效率^[3]。结合交通场景业务特征建立通信干扰实时监测与预警机制，动态监测信号强度、传输时延、丢包率等指标，及时发现问题并调整抗干扰策略，整合计算机信息安全与移动通信安全技术，防范人为恶意信号干扰，保障通信数据传输安全与完整性，使抗干扰技术同时兼顾物理环境干扰应对与数据传输安全需求。

3.2 优化多源感知数据融合能力

3.2.1.改进数据融合算法

针对车路协同感知中多源数据的异构性、异步性问题，需分层优化数据融合算法，构建适配交通场景的高效融合体系，提升数据处理的精准度与场景适配性。在数据级融合阶段，引入时空校准算法，对车载运动传感器与路侧静止传感器的采集数据进行时间同步与空间匹配，消除因采集主体差异产生的原始数据偏差；在特征级融合阶段，结合交通场景特性搭建轻量化特征提取模型，对同构与异构传感器的特征信息进行筛选与整合，强化对交通主体、路况特征的有效提取；在决策级融合阶段，采用多模型融合决策方法，结合不同交通场景的感知需求设置算法权重，建立统一的交通状态表征模型，提升对超视距、恶劣天气等复杂场景的融合处理能力，让融合后的信息能够精准、全面反映实际交通状态，为后续协同决策提供高质量的数据支撑。

3.2.2.提升感知设备协同性

从设备标准化、组网协同、场景适配三方面提升感知设备协同性，实现车载与路侧感知设备的高效联动，消除设备间的协同壁垒。统一车载与路侧感知设备的采集标准、数据格式与传输协议，让不同类型、不同厂商的感知设备能够实现数据互通，从底层解决设备兼容问题。构建车路感知设备的动态组网机制，根据交通场景的感知需求，自动调整车载与路侧设备的感知范围、采集频率，实现设备间的感知资源互补，强化对交通盲区、复杂路段的联合感知能力^[4]。针对城市路口、高速公路、匝道等各类交通场景，优化感知设备的整体布局与协同策略，在交通密集区增加路侧感知设备的布设密度，与车载设备形成多层感知网络，同时建立设备故障的动态补位机制，当部分感知设备出现故障时，其他设备可自动补位完成感知任务，保障感知系统的整体协同性与运行稳定性。

3.3 加快协同控制技术迭代升级

3.3.1.优化控制决策模型

立足交通场景的组合特性与交通流非线性、强耦合的特

征，重构适配复合场景的协同控制决策模型，提升泛在分布式与情景驱动动态集中式机制的融合效率与灵活度。针对路口、匝道、路段三类基础场景的组合形态，搭建模块化决策模型框架，依据实际交通场景的动态变化实现模块快速适配与重组，突破单一场景模型的应用限制。将系统优化、路权分配、轨迹规划三层管控任务深度嵌入模型设计，结合实时交通流量、车辆行驶状态等数据动态调整模型参数，构建兼顾个体行驶最优与区域系统最优的多目标优化体系。同时充分结合交通群体的行驶特征与路权需求，优化模型的路权分配算法与轨迹规划逻辑，使决策模型能够精准匹配不同交通流密度、不同场景组合的实际管控需求，进一步提升协同控制的科学性与场景适配性。

3.3.2.缩短控制指令响应时间

从感知数据传输、指令生成运算到设备执行反馈全流程打通技术链路，构建低时延的控制指令响应体系，提升对交通流突变的快速应对能力。依托优化后的车路通信技术，搭建感知数据与控制指令的专属传输通道，采用轻量化的数据传输格式，降低数据在车路之间的传输时延，保障信息交互的实时性与稳定性。在路侧端部署边缘计算节点，将控制指令的生成运算下沉至感知现场，替代传统云端集中运算模式，大幅缩短指令生成的运算耗时，实现对交通状态的就近快速处理。同时优化车载与路侧执行设备的指令接收及响应机制，简化指令执行的流程环节，提升设备的指令解析速度与动作执行效率，建立指令执行的实时反馈通道，使决策端能够及时掌握指令执行状态，形成感知、决策、执行、反馈的闭环管理，全面压缩控制指令的全流程响应时长。如图1。



图1 车路协同低时延控制响应流程

4 车路协同技术应用成效与发展走向

4.1 通信技术优化后的应用效能提升

通信频段资源的优化配置与抗干扰技术的完善，从底层保

障了车路协同信息交互的稳定性与实时性，直接推动系统应用效能的显著提升。稳定可靠的通信链路可有效控制车-车、车-路间的数据传输时延与丢包率，为协同感知、实时决策等核心功能奠定坚实传输基础。在交通密集的城市路口，低时延通信支撑车辆与路侧设备实时交互行驶状态及信号相位信息，实现车辆协同安全控制与信号主动优先通行，大幅提升路口通行效率。在高速公路等广域场景，5G与DSRC协同通信保障交通信息全域共享与动态路况预警，有效降低追尾事故发生概率。通信可靠性的提升增强了系统在复杂天气与地理环境下的适应能力，推动车路协同从单一试点场景逐步迈向多场景规模化应用，切实提高道路交通安全水平与整体通行效率。

4.2 感知融合技术完善后的场景适配拓展

数据融合算法的优化与感知设备协同性的提升，打破了多源数据壁垒，显著增强车路协同感知系统的场景适配能力，推动应用场景从基础场景向多元场景不断拓展。改进后的融合算法有效解决车载与路侧传感器的时空异构问题，实现对超视距、恶劣天气等复杂环境的精准感知，可全面捕捉交通主体与道路环境的动态信息^[5]。在城市路口，多源感知融合能够精准识别行人、非机动车与机动车的交互风险，实现精细化安全预警与协同管控；在高速公路场景，可实时监测车队行驶状态与道路施工区域，支撑智能调度与应急处置。随着感知能力持续增强，车路协同应用场景进一步覆盖公交优先、匝道协同管控、自动驾驶车队运行等领域，场景适配性的提升为系统规模化落

地应用筑牢技术根基。

4.3 协同控制技术升级后的发展方向

控制决策模型的优化与控制指令响应时延的降低，推动车路协同控制技术向更智能、更高效方向升级，进一步明晰了未来核心发展方向。控制技术将从单一基础场景适配转向复合场景全域协同管控，构建泛在分布式与动态集中式相结合的混合控制机制，实现对路口、匝道、路段组合场景的一体化协同调控。未来控制技术将深度融合交通流精准预测与群体智能决策，提升对交通流突变、突发路况的快速响应与自适应调整能力，实现交通资源动态优化配置。同时，控制技术将与自动驾驶、车路协同自动驾驶深度融合，依托协同感知与全域决策支撑自动驾驶车队编队行驶与协同避障，推动车路协同从交通管控辅助工具向全域交通智能中枢演进，助力智能交通系统实现更高水平的安全、高效与绿色运行。

5 结语

车路协同技术是智能交通系统发展的核心支撑，其应用落地仍面临通信、感知、控制等关键技术短板的制约。通过精细化配置通信资源、优化多源感知融合算法、升级协同控制模型等针对性措施，可有效突破技术瓶颈，实现通信效能、感知适配性与控制响应效率的全面提升。技术体系的持续迭代完善，将推动车路协同从试点示范走向规模化落地，充分释放技术赋能价值，为智能交通系统的高效化、智能化发展筑牢技术根基，助力交通领域实现高质量发展。

参考文献：

- [1] 徐志刚,张梦,高赢,等.智能车路协同系统测评方法研究进展[J].中国公路学报,2025,38(06):271-294.
- [2] 刘洋,占佳豪,李深,等.自动驾驶技术的未来:单车智能和智能车路协同[J].汽车安全与节能学报,2024,15(05):611-633.
- [3] 于翔.车路协同视域下的智能交通系统体系及技术应用[J].大众科技,2024,26(01):5-9.
- [4] 雷久伦.车路协同下交通设施信息化建设的应用研究[J].交通节能与环保,2023,19(03):90-93.
- [5] 张毅,姚丹亚,李力,等.智能车路协同系统关键技术与应用[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(05):40-51.