

公路信息化建设中无线通讯传输技术应用

冯仁静¹ 谢 昆² 李志成³

1. 江西省交通投资集团南昌东管理中心 江西 南昌 330000

2. 江西赣粤高速公路工程有限责任公司 江西 南昌 330100

3. 江西交科交通工程有限公司 江西 南昌 330000

摘 要：为推进公路智慧化、数字化建设，破解传统有线传输部署受限、覆盖不足等难题，本文聚焦5G、无线Mesh、LoRa、V2X等主流无线通讯传输技术，阐述其技术特性与公路信息化的适配逻辑。结合智能监控、智慧运维、应急指挥及车路协同四大场景，分析技术实际应用成效，梳理信号不稳、多技术融合差、网络安全薄弱等核心问题，从技术、安全、运维及行业发展维度提出优化策略，助力公路信息化高质量发展。

关键词：公路信息化建设；无线通讯传输技术；应用

引言：智慧交通是现代交通行业转型升级的核心方向，公路信息化作为关键支撑，对数据传输的实时性、稳定性与覆盖性提出更高标准。传统有线传输模式难以适配公路线性、长距离、多复杂地形的建设场景，存在部署成本高、灵活性差等短板。而各类无线通讯传输技术凭借独特优势，可全方位适配公路建管养运全流程。基于此，本文探究无线通讯技术在公路信息化中的应用价值、现存问题及优化路径，为智慧公路建设提供参考。

1 公路信息化与无线通讯传输技术相关概述

1.1 公路信息化建设核心内容

（1）公路信息化内涵：依托信息技术、通信技术与物联网技术，构建覆盖公路建管养运全生命周期的数字化管控体系，实现路网状态实时可知、运营调度高效可控、公众服务精准可达。（2）核心建设模块：包括智能视频监控模块、交通流调度管理模块、应急指挥联动模块、基础设施智慧运维模块及公众出行信息服务模块，五大模块协同支撑公路智慧化运行。（3）信息化建设对传输技术的核心要求：须具备低通信时延保障实时调度、高带宽承载视频数据、广覆盖适应线性路网、强抗干扰确保复杂环境稳定传输、支持移动节点接入及低功耗运行等能力。

1.2 主流无线通讯传输技术原理与特性

（1）5G无线传输技术：具备超高速率、毫秒级超低时延及海量连接特性，通过网络切片技术为不同业务提供逻辑隔离的虚拟专网，适配大带宽视频回传与实时控制类场景。（2）无线Mesh传输技术：支持自组织组网与多跳中继传输，部署灵活、抗毁性强，适用于公路隧道、山区及偏远路段等有线覆盖困难区域，有效消除信号盲区^[1]。（3）LoRa低功耗广域网技术：具备远距离

通信、微安级功耗及强穿透能力，适用于沿线各类传感器、监测终端的数据采集与周期性上报，支撑低成本广域物联。（4）V2X车路协同通信技术：实现车-路-云多端信息交互，支撑前向碰撞预警、绿波通行引导等安全与效率类应用，是智慧公路网联化的重要基础。

1.3 无线通讯与公路信息化的适配逻辑

（1）场景适配：针对固定监控点位、移动巡检车辆、高速行驶车流及偏远无网路段等差异化场景，灵活匹配5G、Mesh、LoRa或V2X等适宣传输技术，实现效益最优。（2）功能适配：无线传输技术突破有线部署物理限制，支撑公路动态状态数据实时采集、大文件远程回传及平台与现场间的智能交互，满足业务灵活响应需求。（3）运维适配：无线设备采用模块化设计，具备部署快捷、扩展性强、维护成本低等优势，适应公路沿线长距离、多点分散的运维特点，有效降低总体建设与运营成本。

2 无线通讯传输技术在公路信息化建设中的具体应用

2.1 在公路智能监控系统中的应用

（1）路况实时视频传输：借助5G网络的高带宽与低时延特性，结合无线Mesh自组网的灵活中继能力，构建覆盖高速公路全程的高清视频监控传输体系。在隧道、山区弯道等传统光纤难以敷设的区域，通过Mesh节点逐跳转发有效延伸信号覆盖，确保监控画面连续、稳定地回传至调度中心，从根本上解决偏远路段监控信号中断的难题，实现路网运行状态的“可视、可管、可控”。

（2）交通流量数据采集：在关键节点部署集成5G或LoRa通信模块的物联网感知终端，对车道级车流量、时间平均车速、空间平均车速及车道占有率等交通流参数进行高精度实时采集^[2]。采集数据经由无线链路快速汇聚

至交通大数据平台,为动态信号配时优化、潮汐车道策略调整及节假日保畅预案制定提供精准可靠的数据决策依据。(3)异常路况智能预警:基于无线数据传输的实时性优势,配合边缘智能计算节点对视频流与雷达点云数据进行在端侧快速分析,可在数秒内完成交通事故、突发拥堵、路面坑槽、遗撒障碍物等异常事件的自动检测与精准定位。检测结果通过无线专网即时推送至管理平台与沿线可变情报板,同步触发声光报警与上下游联动诱导,有效缩短异常事件发现与响应的时间窗口。

2.2 在公路智慧运维系统中的应用

(1)道路设施状态监测:在桥梁支座、隧道衬砌、高边坡挡墙及机电设施等关键部位布设低功耗无线传感网络,通过LoRa等窄带通信技术将结构沉降、倾斜角度、振动频率、应力应变及设备运行温度等监测数据周期性自动上报至健康监测平台。系统结合历史数据趋势分析,实现设施安全隐患的提前预警与预防性养护触发,推动运维模式由被动抢修向主动防控转变。(2)移动巡检数据传输:为路巡车辆配置车载无线终端,为外业人员配备具备5G或Mesh通信能力的智能手持设备,实现巡检轨迹全程记录、病害照片与短视频随拍随传、标准化电子巡查表单实时填写。现场数据自动同步至运维管理系统,有效避免传统手工记录导致的漏报、迟报与信息失真问题,使巡检作业全过程有迹可循、有据可查^[3]。(3)运维调度远程协同:依托无线通信网络搭建覆盖指挥中心、养护工区与一线班组的综合调度平台,集成即时消息、语音对讲、视频会商与工单流转功能。当现场遇到复杂技术故障时,管理人员可通过远程视频方式指导作业人员处置;同时根据GIS地图动态调配附近维护资源,实现“感知—研判—调度—处置—反馈”的运维闭环管理,显著提升整体作业效率与资源利用率。

2.3 在公路应急指挥系统中的应用

(1)应急现场通信保障:针对地震、滑坡、重大交通事故等造成公网基础设施损毁的极端情况,应急队伍可快速投放无线Mesh自组网设备,利用其自动发现邻居节点、动态路由多跳转发的特性,在无任何基站支持的条件下于数分钟内搭建起覆盖事故区域的临时通信网络,确保现场人员之间以及与后方指挥部的语音、数据链路畅通,为抢险救援赢得宝贵先机。(2)应急数据实时传输:现场应急人员通过便携式5G终端或Mesh接入节点,将事故现场高清视频画面、有毒有害气体浓度、水文地质变化信息以及救援人员GPS定位轨迹等关键数据实时回传至指挥中心。决策者可基于全面、动态的现场态势信息,科学研判事件发展趋势,精准调配应急物资与

救援力量,有效提升突发事件处置的科学性与时效性^[4]。

(3)交通应急疏导调度:利用V2X路侧单元与5G蜂窝广播能力,向事故影响区域内通行车辆定向推送前方事故预警、车道封闭提示及分流绕行建议等管制信息。同时系统联动周边收费站入口匝道信号灯实施远端流量调控,均衡路网压力,有效防止车流过度聚集引发二次事故与长距离拥堵,保障应急救援通道畅通无阻。

2.4 在车路协同与智慧出行中的应用

(1)车路信息实时交互:在互通立交、事故多发段及气象敏感区域部署V2X路侧通信设备,持续向通行车辆广播道路线形、临时限速、施工区占道、路面湿滑系数及团雾预警等信息。车载终端经人机交互界面提示驾驶员,使“人一车一路”形成信息闭环,有效增强驾驶员对前方路况风险的主动感知与预判能力。(2)智能驾驶辅助支撑:依托5G网络超可靠低时延通信切片提供端到端毫秒级传输保障,将路侧感知系统识别的盲区行人闯入、异常停驶车辆、掉落抛洒物等动态风险实时推送至自动驾驶域控制器,有效弥补单车智能在远距感知遮挡与协作决策方面的不足,助力自动驾驶系统提前规划避让轨迹,显著提升复杂交通场景下的行驶安全裕度。

(3)公众智慧出行服务:利用广泛覆盖的无线通信网络,构建集实时路况、沿途服务区车位占用、充电桩空闲状态、天气状况及预计通行时长于一体的出行服务移动平台。系统根据用户出行偏好与实时路况动态规划最优路线,并在拥堵发生前主动推送预警与替代方案,切实提升公众出行体验与路网整体运行效率。

3 公路信息化建设中无线通讯传输技术应用问题与优化策略

3.1 技术应用现存核心问题

(1)信号传输稳定性不足:山区地形起伏、长隧道封闭空间及急弯路段对无线信号产生严重遮挡、反射与衰落,导致传输质量急剧下降;同时车辆高速移动引发的多普勒频移效应使信号频率发生偏移,加剧通信链路抖动,直接影响高清视频与实时控制类业务的连续性和可靠性。(2)多技术融合适配性差:5G、Mesh、LoRa、V2X等无线技术在频段资源、通信协议栈、数据封装格式上缺乏统一标准,多制式设备同场域部署时易产生邻频干扰与互调干扰,跨系统间数据对接存在接口不兼容、时间同步偏差等突出问题,制约整体协同效能发挥。(3)网络安全防护薄弱:无线信道开放广播特性使其易遭受信号截获、重放攻击、数据篡改及伪基站非法入侵等安全威胁,当前公路信息系统中端到端加密强度不足、设备接入认证机制不健全、异常流量监测能力

欠缺,数据安全保障体系尚存明显短板。(4)建设运维体系不完善:部分偏远路段仍存在无线通信覆盖盲区,设备部署密度不足;已建设备缺乏远程运行状态监测手段,故障排查多依赖人工现场处置,响应效率偏低;行业统一建设规范与运维标准尚未建立,各地建设水平参差不齐。

3.2 技术层面优化策略

(1)信号覆盖优化:针对隧道、山区弯道等信号盲区部署高增益定向天线拓展覆盖距离,增设Mesh无线中继补点设备消除阴影区死角,同时精细化配置工作频段与抗干扰滤波参数,综合运用空间分集与时间分集技术,有效削弱复杂环境对无线传输的干扰影响。(2)多技术融合优化:搭建统一的通信协议适配框架与标准化数据交换接口,利用5G网络切片技术实现不同业务类型的逻辑隔离与按需承载,推动5G、Mesh、LoRa等技术在统一管控平台下的协同适配与智能路由选择,提升多系统数据传输的兼容性与互通水平^[5]。(3)传输性能升级:构建面向公路线形与典型移动场景的精细化无线信道模型,针对高速运动状态动态调整调制编码方案与波束赋形参数,结合自适应调制与混合自动重传机制,有效抑制多普勒效应影响,实现通信时延进一步缩减与传输可靠性的持续提升。

3.3 安全与运维层面优化策略

(1)强化网络安全防护:构建覆盖无线接入侧、承载网络侧与应用平台侧的全链路加密防护体系,完善基于数字证书的设备可信接入认证、端到端数据加密传输、异常行为实时监测与主动阻断机制,定期开展安全风险评估与渗透测试,全面提升公路信息系统的安全防御能力。(2)完善运维管理体系:建立无线设备从部署调试、运行监测到报废更新全生命周期管理制度,依托统一信息化管理平台实现对设备在线状态、信号场强、故障告警的远程实时监测与智能诊断,优化故障分级响应流程与备品备件管理机制,显著提升运维响应效率。(3)推进标准化建设:加快制定公路无线通信设备部署规范、多技术互联互通接口标准及数据传输协议等行业统一标准,以标准化引领规范化应用,避免各自为政造

成的资源浪费与兼容性问题。

3.4 行业发展保障策略

(1)加大技术研发投入:设立公路专用无线通信技术研发专项资金,针对隧道覆盖增强、高速移动接入保障、低功耗广域物联等特殊需求开展定制化技术攻关,推动核心设备国产化替代进程,切实提升技术装备的场景适配能力与自主可控水平。(2)强化队伍建设:构建公路交通与无线通信跨学科人才培养机制,通过校企联合培养、在职继续教育、专业技术认证等多元路径,打造兼具交通工程与通信技术背景的复合型专业人才梯队,为行业技术持续创新与规模化落地提供智力支撑。(3)完善政策扶持机制:出台专项行业政策引导文件,将无线通信技术在公路信息化中的规模化应用纳入考核指标体系,从标准制定引导、专项资金补助、试点示范工程推广等方面给予系统性政策保障,推动技术成果加速转化与全行业规模化落地应用。

结束语

本文系统探究了多种无线通讯传输技术在公路信息化核心场景的应用价值,剖析了现阶段技术应用、安全防护及运维管理中的突出问题,并针对性提出全方位优化策略。无线通讯技术是智慧公路建设的核心基石,未来需持续推进技术创新、多技术融合与行业标准化建设,强化人才与政策保障,破解场景应用痛点,全面提升公路信息化、智能化运营水平,赋能智慧交通行业长效发展。

参考文献

- [1]孙春蕾.基于OTFS的下一代车联网新型通信与感知一体化技术[J].工程科学学报,2023,45(10):164-168.
- [2]王江锋.通信时延下考虑行驶状态时空价值的编队安全控制[J].中国公路学报,2025,38(3):15-26.
- [3]张宇.5G-V2X无线传输技术在智慧公路信息化建设中的应用研究[J].公路交通科技,2024,41(7):132-138.
- [4]陈曦.低功耗无线通信技术在山区公路信息化监测中的应用[J].交通科技,2023,9(6):89-93.
- [5]刘涛.智慧公路信息化建设中无线通信传输网络优化策略[J].交通运输工程与信息学报,2024,22(2):188-194.