

Research on the Application Scenarios and Engineering Practice of 5G Data Return Transmission Technology for Large Port Gantry Cranes

Zhengyang Shi Junhai Chen Xiaoxing Lu Haiguang Li

Beibu Gulf Port Qinzhou Terminal Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

Under the wave of intelligence, large ports have put forward strict standards for the timeliness, efficiency and stability of data transmission of gantry crane operations. 5G communication, with its characteristics of abundant bandwidth, rapid response and reliable transmission, has broken through the limitations of traditional backhaul methods such as bandwidth bottleneck, high latency and weak anti-interference. The 5G data backhaul technology centered on port gantry cranes. By establishing multiple application scenarios such as real-time operation scheduling, precise control execution, and forward-looking maintenance support, and simultaneously improving network facilities, strengthening terminal adaptation, and optimizing system architecture, this technological innovation not only promotes a significant increase in port operation efficiency and cost optimization, but also reshapes the operational model pattern. The accumulated experience in standardized construction has wide replicable value. Provide useful references for the development of the industry.

Keywords

Port Gantry crane 5G communication Data return transmission Smart Port Engineering practice

大型港口门机 5G 数据回传技术应用场景与工程实践研究

施正扬 陈均海 卢晓星 李海光

北部湾港钦州码头有限公司, 中国·广西 钦州 535000

摘要

智能化浪潮下, 大型港口对门机作业数据传输的时效性、效率与稳定性提出严苛标准, 5G 通信凭借带宽充裕、响应迅捷、传输可靠的特性, 突破传统回传方式带宽瓶颈、高延迟及弱抗干扰局限, 以港口门机为核心的 5G 数据回传技术, 搭建起实时作业调度、精准控制执行、前瞻性维护保障等多元应用场景, 同步完善网络设施、强化终端适配并优化系统架构, 这一技术革新不仅推动港口作业效能跃升、成本显著优化, 更重塑运营模式格局, 所积累的标准化建设经验具备广泛复制价值, 为行业发展提供有益借鉴。

关键词

港口门机; 5G通信; 数据回传; 智慧港口; 工程实践

1 引言

全球港口技术革新进程里, 智慧港口建设占据前沿地位, 数据顺畅流转构成智能调度和自动化操控根基, 大型门机作为装卸体系关键设备, 其数据传输性能直接关联港口作业效率及安全状况, 面对高清影像传输、即时操控指令、设备状态监测等高强度数据需求, 传统通信方式逐渐显露局限性, 5G 技术凭借低延时、大带宽特质, 为打造高效智能且安全的门机作业体系筑牢根基, 基于 5G 回传技术开展实践应用, 能够驱动港口运营模式朝着数字化协同化方向稳步

迈进。

2 大型港口门机 5G 数据回传技术应用的重要性与紧迫性

全球贸易规模持续拓展, 物流效率要求不断攀升, 智慧港口建设成为行业发展必然趋势, 这一进程高度依赖数据实时采集、传输与处理, 旨在达成设备智能调度、流程优化及协同控制目标, 于大型门机高频作业场景内, 传统人工监控结合局域网的通信模式, 在大数据传输、高清视频流处理、低延迟控制等多方面力不从心, 该模式存在部署复杂、抗干扰性弱、维护成本高昂、传输稳定性欠佳及带宽受限等问题, 难以承载高清视频与多路传感器数据同时传输, 致使信息处理迟滞, 对作业效率与安全构成影响^[1]。5G 技术凭借带宽

【作者简介】施正扬 (1996-), 男, 中国广西浦北人, 本科, 工程师, 从事网络通信研究。

充裕、时延极短、可靠性高的显著优势，成为解决上述难题的核心力量，于门机作业环节，5G 可实现高清视频稳定回传、远程控制指令精准投递及设备状态即时反馈，为无人化、远程化操作创造条件，其超低时延特性大幅提升操控精准度与安全性，强化系统协同运作能力。

3 5G 数据回传技术在港口门机的核心应用场景构建

3.1 门机实时作业数据高速传输场景

大型港口门机运行时产生钢丝绳张力、电机温度等海量关键数据，对设备安全、作业优化和调度效率提升很重要。但传统传输方式难满足大规模多类型数据高速回传需求，作业高峰易出现传输延迟和数据丢失问题。5G 网络因超大带宽，可同步采集多通道传感器数据并毫秒级传输，助监控中心掌握门机状态并快速反应，为后端系统提供支撑，让港口决策更精准灵活，加速调度智能化。其高速传输还为门机数字孪生系统搭建奠定基础，实现设备运行状态可视化与动态模拟，提高整体效率与安全水平。

3.2 远程操控与视频监控低时延传输场景

5G 网络低时延特性让控制指令响应达毫秒级，操作人员可精准远程操控门机，操作流畅。高清摄像头采集的作业画面经 5G 稳定传输至控制室，无压缩、低卡顿的回传画面为操作人员提供清晰视觉参考，便于准确判断。相较于传统无线网桥或 Wi-Fi 信号不稳定、易受干扰的问题，5G 显著提升了控制精度与响应效率^[2]。在多设备协同作业时，5G 能实现多台门机高速数据同步交互，确保设备协作精准一致，提高大型作业的效率与安全保障。

3.3 设备状态监测与预测性维护数据交互场景

凭借 5G 网络高并发传输特性，各类传感器得以不间断采集液压系统压力波动、电机电流变化趋势、轴承振动频率等设备状态参数，且能以极短时间将数据回传至数据中心，供实时监测与深度分析，基于这些即时数据，可搭建设备健康评估模型，配合人工智能算法剖析数据趋势，提前洞察潜在故障隐患，对历史运行数据的挖掘分析，则为门机维修计划的科学制定提供依据，促使运维模式从被动应对故障转向主动预测维护，有效延长设备使用周期，减少意外停机状况，依托 5G 广域覆盖优势，专家可远程获取设备运行数据并实时指导现场操作，既降低运维成本，又提升问题响应速度，助力构建全时段、全流程的智能运维体系。

4 大型港口门机 5G 数据回传工程实践体系搭建

4.1 港口 5G 网络基础设施规划与部署

港口区域空间广袤且结构多元，基站布局设计需兼顾作业强度、设备分布格局及环境遮挡状况，高频作业区域适合部署小基站，强化信号穿透与覆盖效能；开阔地带则采用宏基站拓展信号覆盖范围，构建立体化信号覆盖网络，网络

容量规划在部署时至关重要，需保障高清影像、控制指令、传感信息等多类型数据并发传输顺畅^[3]。引入 MEC 节点可有效缓解中心服务器压力，优化网络路由路径并降低传输时延，提升整体网络性能，网络测试与优化阶段，需针对信号强度、传输延迟、数据吞吐量等核心指标细致调整，确保港口各作业点位均实现网络高可靠、低延迟传输，为后续智慧化应用筑牢网络根基。

4.2 门机终端设备 5G 模组适配与改造

港口改造时，5G 模组选型需契合工业场景需求，应具备卓越抗震、防尘、防水性能，能够从容应对门机高强度振动、显著温差等严苛工况，所选模组需支持高频段信号接入，构建稳固高速的数据传输通道，保障传感器、摄像头、控制器采集数据及时回传后端系统，设备接口的标准统一与兼容同样关键，借助工业总线、网关等技术，可实现不同厂商设备快速对接与协议转换，助力系统集成工作顺利开展，为强化系统安全性能，终端设备需配置加密芯片与远程运维接口，实现设备运行状态实时监测与远程维护，从硬件层面为高效作业与持续优化提供坚实保障。

4.3 数据中台与边缘计算协同架构设计

数据中台作为数据整合中枢，需有出色的数据存储、清洗、建模及分发能力，整合挖掘门机传输的各类数据，为上层业务决策分析打基础。边缘计算节点部署在门机作业现场，可就地预处理高清视频解析、异常数据筛查等，降低传输延迟，减轻中心平台运算压力，满足远程操控等低时延需求。架构协同上，打通边缘节点与数据中台的数据通道，搭建微服务架构实现模块独立管理与扩展，这种分布式协同架构为港口门机智能化运行等提供技术保障。

5 5G 数据回传技术应用的关键要素与保障机制

5.1 频谱资源优化与抗干扰技术应用

港区内无线调度系统、GPS 定位装置、Wi-Fi 网络等多种设备并行运行，频谱干扰形势复杂，处理不当易引发信号冲突、传输迟滞，为改善系统性能，需结合港口无线通信实际环境规划频谱资源，优先配置 5G 专网频段，规避与公共网络及高占用频段重叠，借助动态频谱管理机制，依据实时负载情况智能选择可用信道，提升频谱使用效率与抗干扰水平，运用 MIMO、多载波调制及干扰消除等 5G 核心技术，拓展信号覆盖范围，增强信号穿透能力，优化边缘区域通信质量，于港区作业密集区域，通过布设定向天线、实施信道隔离技术与应用干扰检测算法，降低基站同频干扰概率，保障门机在复杂无线环境下数据传输高效稳定。

5.2 跨厂商设备互联互通标准制定

达成系统间数据互联互通、资源共享目标，构建覆盖物理层接口规范、通信协议准则、数据格式标准及管理机制的统一标准体系势在必行，标准设计需考量既有设备改造适配性与未来系统拓展潜力，选用 OPCUA、MQTT 等开放式

接口协议,保障不同设备间数据语义互通、控制指令兼容,针对异构设备的数据采集融合难题,借助网关协议转换与边缘计算协同运作,打破协议隔阂,提升设备协同作业效率,此标准化工作需港口运营主体联合通信设备企业、门机制造厂商及软件平台供应商协同推进,形成产业链多方共建格局,统一标准体系的建立,既能削减系统集成与运维成本,又能加速5G技术在港口领域规模化落地,推动行业生态建设,助力港口整体信息化水平进阶提升。

5.3 安全防护体系与运维管理机制构建

港口门机5G数据传输系统若遭网络攻击或信息泄露,会威胁港口运营安全,需构建覆盖网络边界、数据链路、终端设备的立体化安全防护架构。通信链路上,部署端到端加密技术,利用VPN、专线传输及切片技术,保障公网数据安全;建立身份认证与访问控制机制,限定操作权限,防止非授权接入^[4]。数据安全上,实施分级分类保护,按数据敏感程度制定加密与备份方案,提升容灾能力。此外,构建运维管理体系,通过网络监测、日志审计、应急响应形成管理闭环,组建兼具5G与工业控制系统知识的运维团队,依托智能平台实现远程监控、预警与维护,保障系统安全稳定运行。

6 5G 数据回传技术的应用成效与推广路径

6.1 作业效率提升与成本优化效益分析

作业中门机状态数据高频次、低延迟传输,助力操作人员依据即时信息实现精准操控,装卸动作更敏捷高效,有效压缩单批次货物处理时长,高清视频回传结合远程操控模式,让作业人员免于现场高空作业,既强化人身安全保障,又降低劳动强度与操作失误概率,实时采集设备运行数据并进行边缘分析,便于开展预测性维护,防范突发停机与过度保养,显著削减维修开支和非计划停机造成的经济损失,港区整体调度环节,5G赋能多设备同步通信,优化港口资源配置,减少设备空转等待时间,远程运维与智能故障排除技术的应用,推动港口设备管理从人力密集型向技术密集型转型,降低对高技能劳动力的依赖,实现人员成本有效控制,5G技术凭借效率提升与资源优化相互促进,为港口运营构建起可持续发展的经济发展模式。

6.2 智能化升级对港口运营模式的革新

门机作为港口装卸核心设备与后端调度系统的实时交互,成为全港作业流程优化的重要基石,借助5G搭建的高效通信网络,港口实现设备运行、人员调配、作业计划深度融合,践行“数据驱动决策”运营理念,以往依靠现场操作和经验判断的管理模式,正逐步被基于实时数据与算法模

型的智能调度系统替代,大幅提升作业可视性与应急处理效率^[5]。5G协同边缘计算、人工智能等技术,赋予门机故障自我诊断、路径自主优化等智能属性,加速自动化作业进程,运营模式上,港口打破传统线性作业桎梏,构建起以信息互通、智能协作为核心的网络化运作体系,实现设备状态监测、作业流程管控、安全风险预警全链条可视化闭环管理,管理人员通过统一平台,可远程监控跨区域港口设备,打造集约化管理模式,充分发挥港口规模优势,这种运营变革为港口智慧化转型筑牢根基。

6.3 行业标准化经验与区域示范工程建设

实际项目实践中,对5G模组选型、接口协议规范、数据传输格式进行统一界定,有效促进多厂商环境下异构设备的互联互通,于门机作业核心流程,传感器部署标准、数据回传周期设定、视频编码格式等技术要点,经实践沉淀为可复用的标准化模板,显著降低后续项目落地难度与系统集成成本,部分港口率先完成5G技术改造并通过工程验证,打造区域性示范标杆,为政策研究、行业指引及技术培训提供实践样本,这些示范项目不仅证实5G技术应用的可行性与经济效益,更推动地方政府、通信企业、港口运营方深度合作,助力智慧港口建设从单点突破向系统化布局演进。

7 结语

大型港口门机引入5G数据回传技术,精准契合智慧港口对通信实时性、稳定性及智能化要求,全方位推动门机作业效率与安全指标跃升,经网络架构部署、设备迭代改造及系统架构优化等举措,搭建起高效联动、具备扩展潜力的技术体系,于作业实时监控、远程精准操控、设备状态智能感知等应用场景中,该技术释放强大效能,深度革新传统作业范式,着眼未来,需持续深化标准体系构建,加大区域示范工程推广力度,加速5G技术在港口核心装备的规模化落地,驱动港口运营向智能高效新台阶迈进。

参考文献

- [1] 李彦山.多点位直播信号回传技术在基层媒体的实践应用[J].电视技术,2023,47(04):97-100.
- [2] 李姿佳,李伟,邓鹏.基于北斗短报文的水下试验数据海上快速回传技术应用[J].数字技术与应用,2022,40(06):62-65.
- [3] 邓欣,杨波,牛志刚,等.海陆无线通讯网络条件下大量工控数据回传技术研究[J].长江信息通信,2022,35(01):98-100.
- [4] 石洋.关于5G传输同步技术的思考[J].通讯世界,2019,26(09):101-102.
- [5] 刘硕.基于自回传技术的异构网络时频资源分配研究[D].北京邮电大学,2019.