

5G+ 边缘计算在海上平台机械设备远程操控中的可行性研究

孟祥南

天津北海油人力资源咨询服务有限公司 天津 300451

摘要: 本文聚焦5G+边缘计算在海上平台机械设备远程操控的可行性。先阐述5G核心技术特性及与边缘计算的协同机制,接着分析海上平台机械设备远程操控的典型场景与核心需求指标。随后提出系统架构设计与关键技术方案,涵盖网络、节点部署、数据处理控制及安全防护等方面。最后从技术、经济、安全三方面验证可行性,结果表明5G+边缘计算能满足海上平台远程操控需求,具备大规模推广条件。

关键词: 5G; 边缘计算; 海上平台; 远程操控

引言: 在海洋资源开发不断深入的当下,海上平台作为关键作业场所,其机械设备的高效安全运行至关重要。传统操控模式受限于环境与距离,已难以满足需求。5G与边缘计算作为新兴技术,凭借各自优势在多领域展现出巨大潜力。将二者融合应用于海上平台机械设备远程操控,有望突破传统局限,为海上作业带来变革,故开展其可行性研究具有重要的现实意义。

1 5G+边缘计算技术基础与关键特性

1.1 5G核心技术特性

5G作为新一代移动通信技术,有三大核心特性支撑关键业务。超高带宽借助大规模天线阵列等技术,峰值速率超10Gbps,能高效传输高清视频等大容量数据,满足远程操控多维度数据实时采集需求。超低时延依托网络切片等技术,将端到端时延控制在1-10ms,解决指令响应滞后问题。海量连接采用窄带物联网技术,每平方公里支持百万设备接入,适配多设备协同场景^[1]。此外,5G网络切片可划分专属资源,避免业务干扰,保障传输稳定可靠。

1.2 5G与边缘计算的协同机制

5G与边缘计算通过三层协同构建高效支撑体系。网络层上,5G用网络切片为边缘计算划专属通道,保障数据传输低时延、高可靠;边缘计算为基站提供本地算力,减轻基站负荷,提升网络效率。算力层中,5G广覆盖使边缘计算节点广泛部署成分布式网络;边缘计算节点通过算力调度,按5G设备实时需求分配资源,实现负载均衡,提高算力利用率。应用层上,5G为边缘计算提供高速通道,边缘计算实时处理5G数据并提供决策支持,提升远程操控等场景的实时性与可靠性。

2 海上平台机械设备远程操控的需求分析

2.1 典型应用场景

2.1.1 钻井设备远程操控

钻井设备远程操控是海上平台核心应用场景,需实现对钻井机、泥浆泵等关键设备的远程精准控制。作业时,现场传感器实时采集钻井机转速、钻压、泥浆压力等运行参数,通过传输网络发送至远程操控中心;操控中心通过高清显示系统实时呈现钻井工况,操作人员根据参数变化远程调整钻井参数,控制钻井机起钻、下钻、钻进等动作。该场景需解决复杂海况下设备振动导致的参数采集偏差问题,通过多传感器数据融合技术提升参数准确性。同时钻井过程中若出现卡钻、井涌等突发故障,系统需快速响应,自动触发应急控制指令,实现钻井设备紧急停机,避免事故扩大。远程操控中心需与现场巡检人员实时联动,通过双向语音、视频通信实现故障协同处置,提升作业安全性与效率。

2.1.2 起重机与吊装系统

起重机与吊装系统远程操控是海上平台物料转运的关键场景,主要应用于设备吊装、物资补给等作业。该场景中,需通过安装在起重机上的高清摄像头、角度传感器、重量传感器等设备,实时采集吊装角度、吊重、风速等数据,传输至远程操控台。操作人员借助三维可视化系统,直观掌握吊装位置、姿态及周边环境信息,远程控制起重机的起升、变幅、旋转等动作。由于海上平台空间有限,且受海风、海浪影响较大,系统需具备高精度定位能力,通过差分GPS、激光雷达等技术实现吊装位置厘米级定位。同时,需建立多重安全预警机制,当吊重超过额定值、风速达到警戒值或出现碰撞风险时,系统自动发出预警并强制停止作业,保障吊装过程安全可控^[2]。

2.2 水下机器人协同作业

水下机器人协同作业是海上平台水下作业的重要场景,主要用于海底管道检测、设备维护、水下勘探等任务。该场景需多台水下机器人根据作业需求组成协同团队,通过远程操控系统实现任务分配与动作协同。每台水下机器人搭载高清摄像头、声呐探测仪、机械臂等设备,实时采集水下环境图像、管道缺陷数据、水质参数等信息,并通过水下通信模块传输至水面边缘节点,经处理后上传至远程操控中心。操控人员通过协同控制界面,实时监控各机器人位置、状态及作业进度,根据探测数据远程操控机械臂完成缺陷修复、样本采集等动作。系统需解决水下通信带宽有限、信号衰减严重的问题,采用5G+水声通信融合技术提升数据传输稳定性。

2.3 核心需求指标

海上平台机械设备远程操控的核心需求指标围绕实时性、可靠性、准确性、安全性四大维度构建。实时性指标要求控制指令端到端时延不超过50ms,其中设备数据采集至边缘节点时延不超过10ms,边缘节点处理至指令下发时延不超过30ms,确保远程操作与现场设备动作同步。可靠性指标要求系统全年平均无故障运行时间不低于8760小时,网络传输成功率不低于99.99%,当单一设备或链路故障时,系统可在1秒内自动切换至备用资源,保障作业连续性。准确性指标要求设备定位误差不超过5厘米,控制指令执行误差不超过1%,通过高精度传感与闭环控制技术实现参数精准调控。安全性指标要求数据传输加密等级达到AES-256级别,具备身份认证、权限管控、行为审计功能,可有效防范非法入侵与数据泄露,同时应急响应时间不超过3秒,确保突发故障快速处置。

3 5G+边缘计算远程操控系统架构设计与关键技术方案

3.1 5G网络优化方案

5G网络优化方案针对海上平台场景特性,从网络部署、资源调度、抗干扰三个维度实施优化。部署层面采用“海面基站+平台微基站”双层架构,海面基站选用高增益天线扩大覆盖范围,平台微基站采用超密集组网提升信号强度,实现海上平台及周边海域信号全覆盖,信号强度稳定在-85dBm以上。资源调度层面采用动态网络切片技术,为远程操控业务划分专属切片,分配固定带宽资源,保障切片内时延稳定在10ms以内;同时引入智能调度算法,根据设备接入数量、数据传输量动态调整资源分配,当业务负载峰值时自动扩容带宽,负载低谷时释放资源提高利用率。抗干扰层面采用自适应跳频技术,实时检测海面电磁干扰强度,自动切换至干扰强度低于-90dBm的通信频段;通过波束赋形技术聚焦信号传

输方向,减少信号扩散与损耗,提升抗干扰能力,使网络传输误码率控制在 10^{-6} 以下。

3.2 边缘节点部署方案

边缘节点部署方案采用“中心边缘节点+分布式边缘节点”的层级部署架构,适配海上平台集群作业需求。中心边缘节点部署在主海上平台,配置高性能服务器集群,具备每秒100万次数据处理能力,负责统筹各平台设备数据汇总、全局任务调度及与核心云的通信交互。分布式边缘节点分别部署在各从属平台及作业船,采用轻量化服务器设计,具备每秒10万次数据处理能力,负责本地设备数据实时采集、处理及控制指令执行^[1]。节点部署采用模块化设计,支持快速安装与扩容,可根据平台设备数量增减节点算力模块。数据传输采用“本地处理+按需上传”模式,分布式边缘节点处理后的关键数据通过5G专网传输至中心边缘节点,非关键数据本地存储,中心边缘节点仅将全局统计数据上传至核心云,降低传输压力。

3.3 数据处理与控制方案

数据处理与控制方案采用“边缘实时处理+云端协同优化”的分层架构,保障数据处理效率与控制精度。边缘层采用“预处理-融合-决策”三级处理流程,预处理阶段对传感器采集的原始数据进行降噪、去重处理,剔除异常数据;融合阶段采用多源数据融合算法,整合不同传感器数据提升数据准确性;决策阶段基于预设控制模型快速生成控制指令,整个边缘处理流程耗时不超过20ms。控制层面采用闭环控制机制,边缘节点实时采集设备执行结果数据,与指令目标值对比,计算偏差后动态调整指令参数,使控制误差控制在1%以内。云端层负责控制模型优化与历史数据挖掘,通过大数据分析设备运行规律,定期更新边缘节点控制模型参数;当边缘节点遇到复杂故障时,云端提供远程技术支持,协助边缘节点制定处置方案。

3.4 安全防护方案

安全防护方案构建“物理-网络-数据-应用”四维防护体系,全方位保障系统安全运行。物理层防护通过设备加密锁、门禁系统、视频监控实现,仅授权人员可接触边缘节点、服务器等核心设备,监控数据实时存储至本地硬盘并同步至中心边缘节点。网络层采用防火墙、入侵检测系统、VPN加密传输三重防护,防火墙阻断非法访问请求,入侵检测系统实时监测网络异常行为,发现攻击后5秒内发出预警并阻断连接;VPN采用IPSec协议对传输数据加密,确保数据传输安全。数据层实施全生命周期防护,数据采集时进行脱敏处理,存储采用AES-256

加密技术,访问采用“角色-权限”双认证机制,仅授权人员可查看对应级别数据;数据备份采用“本地+异地”双备份模式,每日自动备份数据,保障数据不丢失。应用层通过安全审计、漏洞扫描定期检测应用程序安全隐患,每月进行一次漏洞扫描,发现漏洞后72小时内完成修复,同时建立应急响应机制,应对各类安全事件。

4 5G+边缘计算在海上平台的可行性验证

4.1 技术可行性

技术可行性通过原型系统测试与场景验证得以确认。原型系统搭建采用商用5G基站与边缘计算服务器,部署于某海上试验平台,接入钻井机、起重机、水下机器人等10类共50台设备。测试结果显示,系统端到端时延稳定在30ms以内,满足远程操控实时性要求;网络传输成功率达到99.992%,设备控制指令执行误差低于0.8%,均优于核心需求指标。场景验证选取钻井设备远程操控与水下机器人协同作业两个典型场景,连续运行30天测试中,钻井设备远程钻进深度误差控制在0.1米以内,水下机器人协同完成管道检测任务准确率达到99.5%。针对海上高盐雾、强振动环境,对设备进行环境适应性测试,核心设备在盐雾浓度50mg/m³、振动频率20Hz环境下连续运行720小时无故障。现有技术成熟度可满足系统部署需求,关键技术均已实现商用化,具备大规模推广的技术基础。

4.2 经济可行性

经济可行性通过成本收益分析与投资回报周期测算验证。成本方面,系统部署成本包括5G基站、边缘节点服务器等硬件设备采购费用约800万元,软件开发与调试费用约200万元,人员培训与运维设备费用约100万元,初期总投资约1100万元。收益方面,系统部署后可减少海上平台现场操作人员数量,按每人每年人工成本50万元计算,可减少10名操作人员,年节省人工成本500万元;远程操控提升作业效率,钻井作业效率提升15%,吊装作业效率提升20%,年增加产值约800万元;故障预警与快速处置减少设备故障损失,年降低维修成本约100万元。经测算,年净收益约1300万元,扣除初期投资后,投资回报周期约10个月^[4]。另外,系统可重复部署于多个海上平

台,后续部署成本可降低30%,长期经济效益显著,具备经济可行性。

4.3 安全可行性

安全可行性通过安全测试与风险评估验证。安全测试采用模拟攻击方式,对系统网络层、数据层、应用层发起10类共50次攻击测试,包括DDoS攻击、数据窃取、非法访问等,系统均成功抵御攻击,攻击阻断时间平均为3秒,未出现数据泄露或设备失控情况。风险评估从技术、环境、人为三个维度展开,技术风险方面,通过冗余设计降低单点故障风险,风险发生概率低于0.1%;环境风险方面,设备防护措施可抵御台风、暴雨等极端天气,环境导致故障概率低于0.05%;人为风险方面,通过权限管控与操作审计规范人员操作,人为失误导致风险概率低于0.2%。系统通过国家网络安全等级保护三级认证,符合海上作业安全规范。实际测试中,模拟网络中断、设备故障等10种突发场景,系统应急响应机制均能快速启动,保障作业安全,安全可行性得到充分验证。

结束语

5G+边缘计算为海上平台机械设备远程操控带来新契机。通过技术协同与架构设计,有效解决了实时性、可靠性等关键问题。可行性验证表明,该方案在技术成熟、经济合理、安全可靠等方面优势明显。未来,随着技术发展,有望进一步优化系统性能,提升海上平台作业效率与安全性,为海洋资源开发利用提供有力支撑,推动海洋产业向智能化、高效化方向迈进。

参考文献

- [1] 闫福恒.海上平台机械设备自动化改造及维护策略研究[J].石化技术,2024,31(5):222-224.
- [2] 李鹏冲.浅谈海上平台机械设备管理及维护保养技术[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(22):85-86.
- [3] 吴蕾.海上平台机械设备管理与维护保养技术探析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(22):22-24.
- [4] 焦国语.海上石油平台机械设备监测与检修[J].化纤与纺织技术,2025,54(5):133-135.