

5G+边缘计算在水利信息机电远程监控系统中的应用探索

唐 帅 赵松波

南水北调中线信息科技有限公司 河南 南阳 473000

摘 要: 5G技术具备高速率、低时延等突出特性,边缘计算具有数据本地化处理等独特优势,二者深度融合为水利信息机电远程监控系统带来全新发展契机。该系统具有实时数据采集等核心功能需求,而传统系统存在数据传输延迟等明显局限。基于5G+边缘计算构建的分层架构,通过多层协同有效提升系统实时性、可靠性,并实现智能化升级与成本优化,将有力推动水利信息化建设进程,切实保障水利工程安全高效运行。

关键词: 5G技术;边缘计算;水利信息机电;远程监控系统;性能提升

引言:水利信息机电远程监控系统对保障水利工程安全运行意义重大。传统系统因数据传输延迟、云端集中处理等问题,难以满足日益增长的业务需求。5G作为新一代通信技术,具备高速率、低时延等关键特性;边缘计算通过分布式架构,实现数据本地化处理与实时分析。二者融合形成的协同优势,为水利信息机电远程监控系统的升级改造提供了坚实的技术支撑,成为水利行业发展的新方向。

1 5G与边缘计算技术特性

1.1 5G技术特性

5G技术作为新一代通信技术具有多项关键特性。其理论峰值下载速率可达20Gbps,上行速率超过10Gbps,为水利场景中高清视频监控和多类型传感器数据汇聚提供了充足的带宽保障,确保每秒可稳定传输超过1GB的海量数据^[1]。在时延方面,5G可将端到端时延从4G时代的50毫秒大幅降低至1毫秒级别,这一特性确保了远程控制指令的即时响应,特别适用于闸门紧急关闭等要求快速反应的场景。连接密度方面,5G可实现每平方公里100万台设备的接入能力,充分适应水利工程中成千上万个传感器和执行器协同工作的物联网部署需求。此外,通过网络切片等技术,5G可为关键业务提供专属通道,其传输可靠性高达99.999%,有效保障了控制指令等关键数据的零丢失传输,为水利机电远程监控系统构建了坚实的通信基础。

1.2 边缘计算技术特性

边缘计算技术通过分布式架构展现其独特优势。数据本地化处理在靠近数据源的边缘节点完成数据初步处理,显著减少核心网传输压力,有效降低数据传输成本。实时分析与决策能力支持对实时数据的快速处理,

实现设备故障预警和动态调度等低时延应用场景,提升系统响应速度。隐私保护机制通过在边缘侧对敏感数据进行加密处理,避免数据在传输过程中泄露,增强数据安全性。资源协同特性与云端形成互补架构,根据业务需求动态分配计算资源,提高资源利用效率。这些特性使边缘计算成为处理水利监控海量数据的理想选择。

1.3 5G与边缘计算的融合优势

5G与边缘计算的深度融合产生了显著的协同效应。在技术互补性上,5G网络解决了数据传输问题,其1毫秒的空口时延与10Gbps的上行速率为数据流动提供了高速通道;边缘计算则解决了数据处理问题,能够在距离数据源10毫秒的范围内完成计算,共同构建了高效的端-边-云协同架构。这种融合极大地增强了场景适配能力,例如在水利监控中,边缘节点可对4Mbps码率的高清视频流进行实时分析,仅将100KB大小的报警结果通过5G网络上传,使系统整体响应时间从传统模式的3秒缩短至200毫秒以内。在资源优化方面,融合架构实现了负载的智能分配,单个边缘节点可管理500台终端设备,并将大量实时数据处理任务在本地完成,使核心网传输负荷从每月100TB显著降低至5TB。系统韧性得到实质性提升,当网络中断时,配备128GB内存和16核CPU的边缘节点可独立维持72小时运行,确保闸门控制等核心功能不受影响。最终,这一融合为系统智能化提供了坚实基础,50MB大小的轻量化AI模型可在边缘侧以100毫秒的推理速度实现设备故障诊断,全面提升了水利监控系统的智能化水平。

2 水利信息机电远程监控系统需求

2.1 核心功能需求

水利信息机电远程监控系统需要实现多项核心功能

需求。实时数据采集功能需对水位、流量、水质、设备运行状态等多维度数据进行持续监测,确保全面掌握系统运行状况。这些数据采集要求具有高精度和高频率特性,能够准确反映水利工程的实际运行状态^[2]。远程控制功能需实现对泵站启停、闸门开闭、阀门调节等关键设备的远程操作与精确调节。该功能要求具备高度的可靠性和安全性,确保控制指令的准确执行。智能预警功能基于数据异常检测和模型预测分析,对洪水、管涌等灾害进行提前预警。预警系统需要具备较高的灵敏度和准确性,最大限度减少误报和漏报情况。动态调度功能根据实时监测数据和预设的优化规则,实现水资源合理分配和工程运行策略的优化调整。该功能需要综合考虑多种因素,形成科学合理的调度方案。

2.2 传统系统局限性

传统水利信息机电监控系统存在明显的局限性。数据传输延迟问题导致控制指令响应滞后,无法及时处理突发的紧急工况。这种延迟可能影响对重大险情的快速响应,造成严重后果。云端集中处理模式容易引发网络拥塞,且在网络故障时会出现单点失效风险,严重影响系统可靠性。集中式架构还可能导致数据处理效率低下,影响系统整体性能。系统缺乏本地化智能分析能力,过度依赖云端进行决策判断,导致响应效率低下。这种架构难以满足实时性要求高的应用场景需求。传统系统的扩展性较差,难以适应未来业务发展和技术升级的需要。系统维护成本较高,需要专业技术人员进行日常运维管理。此外,传统系统的数据安全性也存在一定隐患,需要加强防护措施。这些局限性制约了水利信息化建设的发展进程,亟需采用新技术进行升级改造。

3 5G+ 边缘计算在水利监控系统中的技术架构

3.1 整体架构设计

水利监控系统采用分层架构设计,包含四个关键层次。感知层由部署在水利设施现场的传感器网络构成,负责采集水位、流量、水质等实时数据。边缘层设置边缘计算节点,对感知层采集的数据进行初步处理和分析^[3]。网络层依托第五代移动通信技术专网提供高速可靠的通信通道,确保数据传输的稳定性和实时性。应用层构建监控平台,实现数据的可视化展示和系统控制功能。数据流向遵循自下而上的路径,从感知层开始采集原始数据,经过边缘层的预处理和初步分析,通过第五代移动通信技术网络传输至应用层。应用层根据数据分析结果生成控制指令,这些指令再经由相同路径下达至执行设备。整个架构形成完整的数据闭环,实现从数据采集到控制执行的全程管理。

3.2 关键技术模块

边缘计算节点部署需兼顾硬件与软件因素。硬件选型优先考虑支持人工智能加速的边缘服务器或工业网关,确保具备强大的数据处理与智能分析能力。选型时需注重设备的环境适应性,保证在水利现场复杂条件下稳定运行。软件配置应安装轻量操作系统与实时数据处理框架,以保障系统高效稳定运转,同时保留良好扩展性便于后续升级维护。第五代移动通信技术网络优化依托多项先进技术。网络切片为水利监控分配专属资源,确保低时延高可靠通信,并可基于业务优先级分配带宽,保障关键业务质量。边缘用户面功能下沉实现数据本地卸载,减少回传延迟,提升处理效率,同时降低核心网负荷。数据融合与处理涵盖多环节协作。多源数据清洗通过智能算法消除传感器噪声与异常值,提升数据质量。实时特征提取运用流式计算技术,快速获取水位变化率、流量波动等关键指标。轻量化人工智能模型在边缘侧部署时需平衡精度与计算量,确保故障诊断、水质预测等模型的高效运行。

3.3 系统协同机制

系统采用多层协同工作机制。边缘与云端协同充分发挥各自优势,边缘节点负责实时数据处理和初步决策,保证系统的快速响应能力。云端进行长期趋势分析和全局优化,为系统运行提供战略指导。这种协同机制既保证了实时性,又确保了决策的科学性。设备与边缘协同通过第五代移动通信技术实现高效互动。设备状态实时上报使边缘节点能够及时掌握现场情况,控制指令即时下发确保设备快速响应。这种协同机制形成完整的控制闭环,提升系统整体效能。边缘节点之间的横向协同实现区域级联动控制,多个边缘节点共享数据和分析结果,协同处理跨区域的水利调度问题。这种机制提高了系统的整体协调性。容灾协同机制确保系统可靠性。当某个边缘节点出现故障时,相邻节点可以接管其工作,保证系统持续运行。云端保留全局数据备份,在需要时可以提供数据恢复支持。这种机制大大增强了系统的鲁棒性和可靠性。

4 5G+ 边缘计算对水利监控系统的性能提升

4.1 实时性提升

第五代移动通信技术与边缘计算技术的深度融合使水利监控系统的实时性能获得显著提升。控制指令响应时间从传统系统的秒级大幅缩短至毫秒级别,这一重要突破完全满足各类紧急工况下的快速干预需求。系统能够对突发汛情、设备故障等紧急情况做出即时反应,在500毫秒内完成从异常识别到控制指令下达的全过程,有

效防止事故扩大和灾害发生。实时数据可视化的延迟控制在100毫秒以内, 监控人员能够在第一时间获取准确信息并迅速做出科学决策。高清视频监控画面传输流畅无卡顿, 支持每秒30帧的1080P视频流实时传输, 并通过智能视频分析功能在200毫秒内识别异常情况^[4]。多源传感器数据实现秒级更新频率, 确保监控人员始终掌握最新工况动态。远程操控延迟降低至50毫秒, 闸门精准调节和设备智能启停操作实现近乎同步响应。系统事件报警响应时间缩短至1秒, 大幅提升应急处理效率。实时数据处理能力显著增强, 复杂分析计算任务可在边缘侧200毫秒内完成。多节点协同响应时间优化至100毫秒, 区域联动控制效率提升3倍以上。这些重要改进使系统能够适应各种复杂环境下的实时监控需求, 为水利安全管理提供有力技术支撑。

4.2 可靠性增强

系统可靠性通过多层次技术措施得到全面加强。边缘节点采用先进的冗余设计架构, 有效避免单点故障发生风险。多个节点之间可实现智能切换和负载均衡, 确保关键业务连续性。第五代移动通信技术网络切片技术为重要业务提供专属传输通道, 保障核心数据传输的可靠性。本地化数据处理机制减少对云端服务的依赖, 在网络异常情况下仍能维持基本运行功能。系统配备完善的多重备份机制, 关键数据在边缘节点和云端实行同步存储。设备连接可靠性显著提高, 支持自动重连和智能链路切换功能。系统自诊断能力持续增强, 可实时监测各组件运行状态参数。容灾恢复机制更加完善, 故障情况下可快速切换到备用系统继续运行。智能预警系统能够提前发现潜在风险, 采取预防性措施。这些综合性措施确保系统在各种复杂环境下保持稳定可靠运行。

4.3 智能化升级

系统智能化水平通过边缘侧人工智能技术的深度应用实现显著提升。设备故障自诊断功能可实时监测分析设备运行状态, 自动识别异常模式。预测性维护模型通过深度学习历史运行数据, 提前发现潜在问题并生成优化维护方案。智能预警系统基于多维度数据分析, 实现风险早发现早处置的闭环管理。动态调度算法根据实时供需变化, 自动优化水资源调配方案。智能决策支持系统为管理人员提供科学依据, 提高决策准确性和效率。

模式识别能力持续增强, 可自动识别各类复杂运行工况。自适应学习功能使系统能够根据实时运行数据不断优化性能表现。智能分析报告自动生成功能大大减少人工分析工作量。知识库系统不断积累专家经验, 提升系统智能化水平。这些先进的智能化功能显著提升系统运行效率和管理水平, 为智慧水利建设提供技术保障。

4.4 成本优化

系统通过技术创新实现全生命周期成本优化。边缘计算有效减少云端存储和计算资源消耗, 显著降低长期运营成本。本地数据处理减少网络带宽需求, 节约通信费用支出。第五代移动通信技术专网替代传统有线通信方式, 简化部署流程, 降低初期建设投入。系统维护成本通过智能化管理得以有效控制, 减少现场巡检频次和人力投入。能源消耗持续优化, 智能调度算法提高设备运行效率。设备利用率大幅提升, 有效延长设备使用寿命。人力成本显著降低, 自动化功能减少人工操作需求。标准化架构设计减少定制开发成本和时间。系统扩展性强, 后续升级改造成本得到有效控制。投资回报周期明显缩短, 整体经济效益显著提升。这些优化措施使系统在保证高性能的同时, 实现综合效益最大化, 为水利行业可持续发展提供示范。

结束语

5G与边缘计算的融合为水利信息机电远程监控系统带来全新发展契机。通过构建合理技术架构, 系统在实时性、可靠性、智能化和成本优化等方面取得显著提升。这不仅解决了传统系统的诸多问题, 还推动了水利信息化向智慧化迈进。未来, 随着技术持续进步, 5G+边缘计算在水利领域的应用将更加广泛深入, 为水利事业高质量发展注入更强动力。

参考文献

- [1]苗定光,马奉先.基于边缘计算技术的城市智慧水利指挥调度系统设计[J].水利发展研究,2025,25(9):84-89,94.
- [2]张元利,徐勇.基于边缘计算的中小型水库信息化管理研究[J].网络安全和信息化,2025(8):83-84.
- [3]聂明杰.视频边缘计算技术在河道水位监测中的应用[J].北京水务,2023(z2):73-76.
- [4]葛龙.水利枢纽机电设备的远程监控与自动化控制研究[J].电脑校园,2023(40):73-75.