

基于5G的电气工程远程智能化运维技术研究

谭斌

新疆轻工职业技术学院 新疆 乌鲁木齐 830021

摘要: 5G技术为电气工程远程智能化运维带来变革。本文聚焦5G在电气工程运维中的适配性架构, 涵盖通信需求、5G特性适配逻辑及接入架构设计。探讨感知与数据传输技术, 如多源数据采集、低时延传输协议等。研究智能分析与决策技术, 包括关联分析算法、状态诊断预警等。还涉及系统集成与运维管控技术, 如平台集成、权限管控等。通过多维度技术融合, 提升电气工程运维的实时性、可靠性与智能化水平。

关键词: 5G技术; 电气工程; 远程智能化运维; 架构设计; 智能分析决策

引言: 电气工程领域, 传统运维模式在实时性、可靠性等方面面临诸多挑战。随着电气设备规模扩大与复杂度提升, 对运维的精准度与效率要求日益增高。5G技术凭借超可靠低时延通信、增强移动宽带等特性, 为电气工程远程智能化运维提供了有力支撑。研究5G在电气工程运维中的应用技术, 有助于突破传统运维局限, 实现运维模式的创新升级, 提升电气系统的运行稳定性与安全性。

1 5G技术在电气工程远程运维中的适配性架构设计

1.1 电气工程远程运维对通信技术的核心需求

电气工程远程运维场景对通信技术提出多维度的严格要求^[1]。在实时性方面, 设备状态监测需实现毫秒级数据采集与传输, 控制指令下发需满足低时延响应以避免系统失稳; 在可靠性层面, 复杂电磁环境下的通信链路需具备抗干扰能力, 确保关键数据不丢失、控制指令不中断; 在容量维度, 分布式能源接入与大规模设备联网催生海量数据交互需求, 要求通信网络支持高并发连接与高带宽传输; 在安全性上, 运维数据涉及设备运行参数与控制权限, 需通过端到端加密与访问控制机制防止信息泄露或恶意篡改。这些需求共同构成电气工程远程运维对通信技术的核心挑战。

1.2 5G核心技术特性与运维场景的适配逻辑

5G技术通过三大核心特性与电气工程运维场景形成深度适配。超可靠低时延通信 (URLLC) 将端到端时延压缩至1毫秒以内, 满足实时控制指令传输与故障快速响应需求; 增强移动宽带 (eMBB) 提供最高20Gbps的峰值速率, 支撑高分辨率视频流、三维模型等大容量数据传输; 海量机器类通信 (mMTC) 支持每平方公里百万级设备接入, 适配分布式能源、智能传感器等大规模终端联网场景。此外, 网络切片技术可按运维需求划分专用逻辑网络, 为不同优先级业务提供差异化服务质量保

障, 实现关键数据优先传输与资源动态分配。

1.3 远程智能化运维系统的5G接入架构设计

基于5G的接入架构采用分层部署模式。终端层集成智能传感器、边缘计算单元与5G通信模组, 实现本地数据预处理与轻量化决策; 网络层通过5G基站与核心网构建无线传输通道, 采用用户面功能 (UPF) 下沉策略缩短数据传输路径; 平台层部署数字孪生引擎与AI分析模块, 基于5G网络切片实现运维数据隔离与计算资源弹性分配; 应用层提供远程操控、故障预测等交互界面, 通过5G专网与公网混合组网模式平衡安全性与覆盖范围。该架构通过端到端协议优化与边缘-云端协同机制, 降低全链路传输时延并提升系统响应效率。

1.4 架构层的抗干扰与稳定性保障设计

针对复杂电磁环境, 架构层采用多维度抗干扰策略。物理层通过波束成形技术与自适应调制编码增强信号抗衰落能力, 可使信号强度提升5-10分贝; 数据链路层引入混合自动重传请求 (HARQ) 机制提升传输可靠性, 数据重传次数可控制在3次以内; 网络层部署多连接切换算法, 在信号遮挡场景下自动切换至备用链路, 切换时间不超过50毫秒。稳定性保障方面, 采用双链路热备份设计, 主备通道实时同步运维数据, 数据同步延迟不超过1毫秒; 同时引入AI驱动的网络自愈模块, 该模块能够持续、动态地监测链路质量, 一旦发现链路质量下降或出现故障等异常情况, 便会迅速触发拓扑重构, 调整网络连接路径, 确保极端条件下通信连续性, 在网络故障发生后1秒内启动自愈机制。

2 电气工程远程智能化感知与数据传输技术

2.1 基于5G的多源运维数据采集技术方案

电气工程运维场景需集成多类型传感器实现设备状态全面感知。振动传感器用于监测机械部件运行状态, 温度传感器捕捉设备热异常, 电流互感器分析电气参数

变化,环境传感器记录温湿度与气体浓度。5G技术通过支持多频段接入与大带宽传输,为多源异构数据提供统一采集通道。采用时分复用与频分复用混合调度机制,实现不同类型传感器数据的分时或并行传输。针对高采样率需求,引入动态带宽分配算法,根据数据优先级动态调整传输资源。通过5G模组内置的协议转换模块,将Modbus、CAN等工业协议统一封装为IP数据包,消除异构协议间的传输壁垒,提升数据采集效率与兼容性。

2.2 运维数据的5G低时延传输协议优化

控制指令与状态数据的实时交互对传输时延提出严格要求。5G网络通过用户面功能下沉与边缘计算节点部署,将数据传输路径缩短至基站侧,减少核心网转发延迟。针对URLLC场景,采用短帧结构与快速调度机制,将空口时延压缩至0.5毫秒以内。传输层协议优化方面,引入轻量化TCP变种与UDP增强协议,通过减少握手流程与重传次数降低端到端时延。针对关键控制数据,设计优先级标记与预调度策略,确保在网络拥塞时仍能优先传输。通过5G网络切片技术为运维业务分配专用资源,避免公共业务干扰,进一步保障传输稳定性。

2.3 海量运维数据的边缘节点预处理技术

边缘计算节点部署于靠近数据源的位置,承担数据清洗、特征提取与轻量化分析任务。采用分布式存储架构将数据分散至多个边缘节点,通过负载均衡算法平衡计算压力。针对时序数据,运用滑动窗口与异常检测算法实时识别数据突变点,过滤无效信息以减少传输量。特征提取模块基于深度学习模型提取设备运行关键特征,将原始数据压缩为低维向量,降低后续传输与存储成本。边缘节点内置自学习机制,可根据历史数据动态调整预处理规则,提升对新型故障模式的识别能力。处理后的数据通过5G网络按优先级分批上传,关键数据采用多路径传输增强可靠性。

2.4 感知终端与5G网络的协同适配技术

感知终端需与5G网络实现硬件层与软件层的深度协同。硬件适配方面,终端内置5G通信模组支持多频段与双连接模式,可根据信号强度自动切换最优频段。天线设计采用MIMO技术提升空间分集增益,增强复杂环境下的信号接收能力^[2]。软件层面,终端运行轻量化操作系统,集成网络状态监测模块,实时反馈链路质量与传输延迟。通过动态码率调整算法,根据网络状况自适应调整数据采样频率与传输带宽。终端与基站间建立反馈闭环,基站根据终端上报的信道状态信息优化波束成形参数,提升传输效率。针对低功耗需求,设计休眠唤醒机制,终端在非数据采集时段进入低功耗模式,延长设备

续航时间。

3 基于5G的电气工程运维智能分析与决策技术

3.1 运维数据的智能关联分析算法设计

电气工程运维场景中,多源异构数据蕴含设备状态演变规律与故障关联特征。智能关联分析算法通过构建数据融合模型,实现跨维度信息挖掘。采用图嵌入技术将设备参数、传感器读数及运维记录映射至低维向量空间,利用图神经网络捕捉节点间隐含关联关系。针对时序数据,设计基于注意力机制的多尺度特征提取模块,自动聚焦关键时间窗口内的异常波动。融合知识蒸馏方法,将大型预训练模型的知识迁移至轻量化模型,提升边缘端实时分析能力。算法通过动态权重分配机制平衡不同数据源的贡献度,增强对复杂场景的适应性,为后续诊断提供多维特征支撑。

3.2 设备运行状态的智能诊断与预警技术

基于深度学习的诊断框架整合多模态数据实现故障精准定位。卷积神经网络处理振动、电流等时序信号,循环神经网络建模设备状态长期演化趋势,双流网络结构实现特征互补。引入对抗训练策略增强模型抗噪声能力,通过生成对抗网络模拟异常样本,提升泛化性能。预警模块采用动态阈值调整机制,结合设备历史运行数据自适应修正报警边界,降低误报率。构建生存分析模型量化故障发生概率,利用威布尔分布拟合设备退化轨迹,为预防性维护提供量化依据。诊断结果通过5G网络实时上传至云端平台,支持远程专家会诊与决策复核。

3.3 远程运维决策模型的构建与优化

决策模型构建遵循“数据-知识双驱动”原则,融合强化学习与数字孪生技术。强化学习框架将运维任务建模为马尔可夫决策过程,通过虚拟环境交互优化策略,数字孪生体提供高保真仿真验证,降低实际执行风险。模型优化引入迁移学习机制,将相似场景下的决策经验迁移至新任务,加速收敛速度。针对多目标优化问题,设计基于帕累托前沿的决策算法,在设备可用性、维护成本及能耗间寻求平衡点。决策结果通过5G网络切片技术保障传输优先级,确保关键指令及时送达执行终端。

3.4 5G网络支持下的智能决策指令实时下发机制

指令下发机制通过端到端QoS保障实现毫秒级响应。5G核心网采用用户面功能下沉架构,缩短传输路径,减少核心网转发延迟。引入确定性网络技术为关键指令分配专用资源,避免公共业务干扰。传输层协议优化设计轻量化确认机制,通过单次握手完成可靠性验证,降低传输开销。执行终端内置指令解析模块,支持多协议转换与动态参数配置,确保不同厂商设备兼容

性。建立指令执行反馈闭环，终端将操作结果实时回传至决策平台，为后续策略调整提供依据，形成完整的智能运维闭环。

4 5G 远程智能化运维系统的集成与运维管控技术

4.1 运维系统与电气工程现有管控平台的集成技术

5G远程运维系统需与电气工程既有管控平台实现无缝对接，确保数据流通与功能协同。采用标准化接口协议转换技术，通过中间件实现不同系统间数据格式的自动映射与转换，消除异构平台间的通信壁垒^[3]。针对老旧系统，设计轻量级适配层，在保留原有业务逻辑的基础上，增加5G通信模块与数据预处理功能。集成过程中引入服务总线架构，将运维功能拆分为独立服务模块，通过总线实现服务注册、发现与调用，提升系统可扩展性。为保障数据一致性，采用分布式事务管理机制，确保跨系统操作的原子性与可靠性。集成后的平台支持多源数据融合分析，为运维决策提供更全面的信息支撑。

4.2 远程智能化运维的权限管控与流程优化技术

权限管控体系基于角色访问控制与属性访问控制双重机制构建。通过动态权限分配算法，根据用户角色、设备状态及运维场景实时调整操作权限，防止越权访问。引入数字证书与生物特征识别技术，强化身份认证安全性，确保操作可追溯性。流程优化方面，采用工作流引擎实现运维任务自动化编排，支持流程模板定制与动态调整。通过智能路由算法，根据设备位置、故障类型及人员技能自动分配最优处理路径，缩短响应时间。建立流程执行监控模块，实时跟踪任务进度与资源占用情况，对异常流程自动触发预警与干预机制。优化后的流程可降低人工干预频次，提升运维效率与规范性。

4.3 5G网络波动下的运维连续性保障技术

针对5G网络可能出现的信号衰减与传输中断，设计多层次容灾机制。终端侧采用双链路冗余设计，同时接入5G与本地有线网络，主链路故障时自动切换至备用链路。传输层引入数据分片与重传机制，将大文件拆分为小数据包独立传输，通过选择性重传策略降低网络波动

影响。边缘计算节点部署本地缓存与临时处理模块，网络中断时暂存关键数据，待恢复后自动同步至云端。核心网采用网络切片技术为运维业务分配专用资源，通过QoS保障机制优先传输控制指令与状态数据。建立网络质量预测模型，根据历史数据与实时监测结果动态调整传输策略，提前规避潜在风险。

4.4 运维系统的动态扩展与适配升级技术

系统架构采用微服务设计模式，将功能模块拆分为独立容器化服务，支持按需部署与弹性伸缩。引入服务发现与负载均衡机制，根据业务负载自动调整服务实例数量，确保系统高可用性。适配升级方面，设计插件化架构，新增功能以插件形式集成，无需修改核心代码即可实现能力扩展。建立自动化测试平台，对升级包进行兼容性验证与回归测试，降低升级风险。通过持续集成/持续部署流水线，实现代码提交到生产环境的自动化部署，缩短版本迭代周期。系统支持远程配置下发与热更新，运维人员可动态调整参数或启用新功能，无需停机维护，保障业务连续性。

结束语

基于5G的电气工程远程智能化运维技术，通过适配性架构设计、多源数据采集传输、智能分析决策及系统集成管控等多方面创新，有效解决了传统运维的诸多难题。该技术提升了运维的实时性与可靠性，降低了成本与风险，增强了设备运行的稳定性与安全性。随着技术不断完善，将在电气工程领域发挥更大作用，推动行业运维向更高效、智能的方向迈进。

参考文献

- [1]李旭斌,田付强,郭亦可.新型电力系统中电力设备健康管理及智能运维关键技术探究[J].电网技术,2023,47(9):3710-3726.
- [2]李洪雁,白华庚.建筑电气工程智能化技术的应用现状及优化措施[J].文渊(高中版),2022(4):731-733.
- [3]王宁.电厂电气设备维护与检修的技术要点分析[J].山西焦煤科技,2022,46(06):70-72.