

基于物联网的智能电网自动化系统设计与实现

马 鑫

国网呼伦贝尔供电公司项目管理中心 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘 要：本研究构建出一套基于物联网架构的智能配电监控平台，此平台采用分布式网络拓扑结构来进行搭建，把智能计量装置、环境传感单元和执行机构加以有机整合，从而形成了一套可靠的数据采集与传输体系，该平台运用动态组网Mesh技术开展工作，成功实现配电网运行参数的在线监测与异常识别功能，基于中央控制系统的深度神经网络算法进行运作，让该平台具备智能故障诊断与自动化处置能力。

关键词：物联网；配电自动化；智能电网

1 前言

在“三型两网”战略深入实施背景下，受新能源占比持续攀升和电力系统智能化转型双重作用影响，电网运行面临潜在系统性风险，急需解决传统设备运维体系和现代电网管理需求间的结构性矛盾，电力市场供给侧与需求侧双向开放正逐步打破传统电网垄断格局，市场主体数量激增会引发更为激烈的市场竞争态势，这要求电力企业加快推进技术革新与转型升级，物联网技术的创新应用为提升电力系统运行效能和电网资产运营质量开辟了新途径，既充分释放了电网基础设施潜在价值，又有效增强了企业的战略竞争优势。

2 配电自动化技术的主要特点

2.1 先进性

配电自动化系统有着很明显的技术前瞻性特点，它的核心设备还有解决方案都代表着电力行业前沿科技成果，在技术迭代速度不断加快的背景之下，这项技术会持续进行升级和演进，能为智能电网的构建提供十分关键的支撑，这有助于实现电网运行的智能化转型，进而满足终端用户多样化的用电需求，基于分布式电源、智能终端和光纤通信等要素构建起的配电物联网体系，可通过异构网络实现数据的交互，依托云端计算平台进行信息整合和智能决策，能够优化电网运行效能并显著提升电力系统传输效率与能源利用率。

2.2 安全性

智能电网里面配电自动化技术的核心应用是部署自动监测与保护系统，这个系统拥有故障实时检测和精确定位的功能，可以快速切断供电回路来有效遏制电网事故蔓延，还能避免终端设备遭受不必要的损害，采用自动化控制来取代人工干预明显降低了操作风险，为电网的安全稳定运行提供了强有力的保障，监控中心的人机交互界面实时呈现电网各子系统及设备运行参数，让

运维人员能够及时获取关键数据并准确掌握负荷分布状况，可快速定位故障区域并立即启动应急处置程序，确保设备能在最短时间内恢复运行以维持智能电网整体稳定性。

2.3 兼容性

在智能电网建设过程中，配电网作为关键组成部分需要与各子系统形成协同运行机制，从而构建完整的智能化电力系统。配电自动化技术的实施有效满足了这一要求，该技术通过实现电力设备与元件的系统化集成，消除了信息交互壁垒，显著提高了数据传输效率与资源利用水平。依托该技术的兼容特性，配电网得以与其他系统平台实现无缝对接，同时强化了负荷预测与优化调度、谐波抑制、分布式电源接入等核心技术的综合应用效能，这不仅有助于降低电网运行损耗，更能提升整体运营效率，为智能电网战略目标的实现提供有力支撑。

3 配电自动化领域中物联网应用的关键技术

在物联网配电自动化系统技术支撑体系里，基础应用层面关键技术之一是配电网自动化核心支撑技术，它涉及人工智能、公共信息模型和信息安全策略多个方面，公共信息模型作为物联网架构重要组成部分，要依照国家相关标准来制定，并且结合国内配电网实际运行环境，建立符合实际需求的基础信息模型，以此确保各环节间数据交互与信息交换的高效性和可靠性，由于我国配电网节点数量大且分布广泛，在应用物联网技术的时候，必须构建完善的信息安全防护体系，从信息源头保障设备及数据的安全性，推动物联网轻量级通信技术的发展，实现安全的加密与身份验证来保障系统稳健运行，另一方面，分层协调机制也是关键技术之一，考虑到配电自动化对感知能力的要求，应在系统设计中实现高敏感度的感知功能，构建设备间的高效联通，进而形成具有高度灵活性和适应性的配电网体系，同时实现

多源信息的融合与整合。为实现上述目标,应将该技术划分为四个核心层级:第一层为云层,作为系统架构的基础,用于存储和处理配电网中低压信息,完成数据的分析和转化;第二层为管理层,作为云端与边缘节点之间的通信桥梁,提高信息传递的效率;第三层为边缘层,依托云平台技术,增强在网络边缘的存储与管理功能,提升整体计算能力;第四层为端设备,承担感知与控制任务,同时协助实现系统的通信与交互功能,从而构建一套完整且高效的配电自动化信息框架。

4 基于物联网技术的配电自动化系统设计

4.1 系统网络拓扑结构设计

本系统基于集中式网络拓扑结构,构建了包含终端采集层、通信传输层和核心处理层的三级架构体系。在终端采集层,部署了精度等级为0.2级的智能计量装置,数据采集间隔设定为15分钟;保护装置采用额定电流63A、短路分断能力2.5kA的智能断路器;测量元件选用600/5A变比的电流互感器(功率因数 ≥ 0.9)和10kV/100V变比的电压互感器。通信传输层采用覆盖范围20公里的自组织网络,支持RS485、RFID和Zigbee等多种通信协议,网络性能满足:节点响应时间低于50ms、时延波动小于20ms、丢包率控制在0.5%以内。核心处理层采用双机冗余配置,配备不间断电源系统,服务器平均无故障工作时间超过5年,具备大规模配电数据实时处理能力。系统软件集成了智能分析、预警提示和故障识别功能,响应速度优于0.5秒,维护周期不低于3年。

4.2 终端设备设计

本系统的终端组成架构主要涵盖两个核心功能模块,即数据采集与智能控制。在数据采集单元方面,配置有高精度的智能电能表(测量精度等级为0.2级)、多功能采集终端以及环境监测设备等多类硬件设施。所使用的智能电表具备从0.02千瓦到20兆瓦的广泛测量范围,采样速率最高可达1赫兹,且支持DL/T645协议。采集终端采用基于32位指令集的微处理器,配备256兆字节存储空间,能够实现RS232、RS485及以太网多种通信方式,采样误差控制在0.01%以内,通信延时低于50毫秒。环境监测设备集成了温湿度传感器、烟雾检测器及视频监控模块,具备多传感协同监测功能。在控制模块方面,系统包括智能配电开关装置、变压器监测终端、绝缘监测与防雷系统等电力硬件终端单元。这些终端设备均配置有备用电源、通信接口及线路参数检测单元,能够动态监控配电网的运行状态,并根据主站指令执行相应控制。具体实现方面,开关控制终端采用32位微控制器,控制响应时间可达10毫秒级,变压器监测终端在电流测量方面的误

差小于等于5%,相位角测量的精度达到 ± 2 度。

4.3 通信网络设计

本研究构建的通信系统采用自组织无线Mesh网络拓扑结构,该架构具有显著的可靠性、大容量传输和低时延特性。系统核心节点由集成ZigBee协调器的网关设备组成,通过有线/无线混合连接方式整合多种智能终端,形成符合IEEE802.15.4规范的自组网体系。系统运行于2.4GHz工业科学医疗频段,采用2MHz信道带宽,单信道传输速率可达250kbps,最大支持500个终端设备接入。网络覆盖半径达200米,通过多跳中继可实现20公里的有效延伸距离。基于AODV路由协议,系统利用周期性“Hello”报文完成邻节点发现和链路质量监测,确保网络时延低于50ms且丢包率控制在1%以内。网关集成3G/4G蜂窝通信模块,采用双协议栈技术实现Mesh网络与互联网的无缝对接。该架构设计简洁高效,在保证高可靠性的同时,能够为大规模智能终端集群提供优质的数据传输服务,具有显著的成本效益优势。

4.4 主站系统设计

本系统核心平台采用双机热备的架构模式,主要是由高性能计算集群、海量数据存储阵列以及智能应用软件体系共同构成,在硬件配置方面,计算节点包含4台应用服务器和2台数据库服务器,它们均搭载着Intel Xeon E5系列八核处理器,基础频率为2.6GHz且L3缓存容量达到35MB,存储子系统采用分布式的架构形式,总存储空间达到20TB,峰值吞吐量为1GB/s,数据可靠性指标达到四个9标准,软件层面构建了配电网设备的三维可视化模型,并且集成了电力参数监测、智能调控、能效优化等关键业务模块,系统基于深度神经网络算法开发了配网运行状态智能分析引擎,从而实现了异常检测与故障预测的功能。

5 配电自动化系统实现

5.1 硬件系统搭建

本系统的硬件架构基于分层设计理念进行构建,其中在配电终端层次,首先选择典型供电区域内的关键线路,并明确监测断面,部署具备通信能力的智能电表、高精度采样模块以及线路参数检测仪等终端设备,从而形成一个分布式数据采集网络。这些终端设备普遍配备具有32位处理能力的微控制器,存储容量范围在32KB至256KB之间,测量精度优于0.2级,同时实时采样与控制响应时间控制在50毫秒以内。在通信层面,采用无线Mesh网络拓扑结构,布设多个通信网关节点,所用Zigbee协调器工作在2.4GHz频段,具有100毫瓦的发射功率、-90dB的接收灵敏度及2.1dB的天线增益,以确保区

域内无线通信的稳定与高效。在数据处理层,为支持高效的实时数据处理,系统配置了高性能服务器集群,采用主频达3.6GHz的处理器、8GB共享内存,运行Windows Server 2016操作系统;存储系统设计容量为10TB,配备1TB固态缓存,以满足每秒5000次的并发I/O请求。最终,通过互联网网关实现主站与终端设备之间的双向通信,构建了完整的云端管理平台架构。

5.2 软件系统开发

本系统的软硬件体系结构是由终端控制软件和中央管理平台软件共同构成的,终端控制软件的核心功能包含了数据采集以及本地设备控制这些方面,它主要是采用C及C++编程语言来进行开发的,系统设计严格遵循模块化原则并且依据功能划分为通信管理、数据采集及控制执行这三个基本单元,通信模块支持多种工业标准协议以此确保与主站之间连接的稳定性且连接成功率稳定在99.9%以上,数据采集模块实现对电流、电压等关键参数的定时测量且采样精度达万分之一同时采样频率可根据实际需求进行调整,控制模块负责接收主站发来的遥控指令经过转换后用端口描述语言实现对本地开关设备的控制且其响应时间控制在0.1秒以内以保障现场操作的及时性和准确性。

5.3 系统调试

本系统调试工作包含模块化测试和集成测试这两个主要环节,在模块化测试环节重点考察终端设备与通信网络交互性能,具体实施过程包括对数据采集终端测量精度和工作频率等关键参数校准确保测量误差不超0.2%且采样频率维持在每分钟1次以上,采用网络性能分析设备检测通信质量要求节点间平均传输时延不超30毫秒且数据包丢失率控制在0.8%以下,通过负载发生器模拟实际运行环境在网络负载达设计容量75%时各项性能指标保持稳定以此验证网络可靠性,集成测试阶段主要评估主站与整个系统协同工作能力着重考察数据处理效能和控制性能,测试结果显示在模拟数据流量逐步增加情况下主站消息处理能力达每秒45条且平均响应时间短于0.8秒、数据包丢失率低于0.5%,系统对终端设备控制指令执行准确及时控制命令响应时间不超0.3秒且远程测量精度优于0.1%各项指标均达预期设计要求。

6 系统实证研究

6.1 实验设置

为检验配电自动化系统的有效性,本研究搭建了完整的配电网物理仿真平台。选取某供电公司10kV典型馈线作为实验对象,该线路服务区域涵盖5000余用户,技

术参数配置如下:额定电压10kV,采用240mm²截面电缆,配置1000kVA容量变压器,线路总长15km,负荷类型包括居民、商业及工业用电。在系统架构方面,线路关键节点部署了电流/电压互感器及环境监测设备,重要用户侧安装智能电表,同时构建了基于ZigBee协调器的无线Mesh通信网络以确保数据传输可靠性。控制中心配置了应用服务器和大数据分析平台,通过VPN隧道实现与Mesh网络的互联互通,形成完整的云边协同仿真环境。该平台硬件配置和软件功能均严格遵循设计方案要求,可模拟多种负荷工况及故障场景,全面验证系统的监测精度、控制响应等关键性能指标,为配电自动化技术的工程应用提供实证研究基础。

6.2 实验结果与分析

本研究针对供电自动化系统故障模拟需求,设计开发了智能终端数据采集装置,实现了电压、电流及有功功率等多维度运行参数的精确获取。实验验证表明,该采集系统性能突出,其中电流测量误差小于0.12%,电压相位偏差不超过0.6°,功率测量时信噪比达76dB,动态范围突破130dB。为评估LSTM网络智能控制算法效能,研究采用12326组典型样本进行验证测试,结果显示该深度学习模型在配网故障诊断方面表现优异,综合准确率达95.2%,其中召回率、精确率和F1值分别为94.7%、96.2%和95.3%,明显优于传统算法。系统具备快速自愈能力,可在29ms内形成控制策略并在132ms内实现供电恢复,故障处置效率提升42%。该方案有效实现了配电网运行状态的实时监控与智能调控,显著提升了系统运行的稳定性和抗扰动性能。

结语

本文提出了一种基于物联网技术的配电自动化系统设计方案,该系统通过集成智能终端设备、自组织通信网络和主站控制层,实现了对配电设备的实时监控与智能管理。未来,该系统有望在智能电网建设中发挥重要作用,为提高供电可靠性和经济性提供技术支持。

参考文献

- [1]王新力.配电自动化技术在智能电网中的应用[J].现代工业经济和信息化,2023,13(1):124-125.
- [2]刘鹏,贾妍楠,余畅,等.智能电网中的新型配电自动化系统应用[J].集成电路应用,2023,40(2):148-149.
- [3]张景源.浅析配电自动化技术在智能电网中的应用[J].中国设备工程,2022(22):43-45.
- [4]贺东顺.配电自动化系统的故障与应对措施分析[J].集成电路应用,2023,40(6):320-321.