

电力系统自动化中边缘计算与云计算协同的数据处理架构

牛智莉

博盛电力技术有限公司，河南省郑州市，450001；

摘要：随着电力系统技术的飞速发展，自动化水平不断提升，数据处理需求也日益增长。边缘计算与云计算作为两种重要的数据处理技术，在电力系统自动化中发挥着关键作用。边缘计算通过在网络边缘进行数据处理，有效降低了数据传输延迟，提高了系统响应速度；而云计算则凭借其强大的计算能力和存储资源，为大规模数据处理提供了有力支持。本文将深入探讨电力系统自动化中边缘计算与云计算协同的数据处理架构，旨在为该领域的发展提供新的思路和方法。

关键词：电力系统；自动化；边缘计算；云计算协同；数据处理架构

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.012

引言

在电力系统自动化日益成为行业发展趋势的背景下，数据处理架构的优化成为提升系统效能的关键。边缘计算与云计算的结合，不仅融合了边缘计算的低延迟优势，还发挥了云计算的强大数据处理能力，共同为电力系统的高效运行提供了坚实的技术支撑。本文将从边缘计算与云计算的定义出发，分析各自在电力系统自动化中的应用特点，进而深入探讨两者协同工作的数据处理策略，以期为解决当前电力系统自动化中的数据处理难题提供创新性的解决方案。

1 特点

1.1 边缘计算的定义与特点

边缘计算是一种将计算、存储、网络资源部署在靠近数据源头（如电力设备、终端传感器）的分布式计算范式，核心是在数据产生的“边缘侧”完成实时处理与分析，减少数据向远程中心的传输。在电力系统自动化中，边缘计算节点通常部署于变电站、配电房、新能源场站等场景，具有三大显著特点：低时延响应，数据处理距离源头近，避免长距离传输延迟，响应时间可控制在毫秒级，满足继电保护、设备状态实时监测等对时延敏感的业务需求；带宽占用低，通过在边缘侧对原始数据进行过滤、清洗、聚合，仅将有价值的特征数据上传至云端，大幅减少数据传输量，缓解主干网络带宽压力；本地自治能力，在网络中断等极端情况下，边缘节点可独立运行本地控制逻辑，保障电力设备基础运行，提升系统抗干扰能力。此外，边缘计算还能实现分布式部署与并行处理，适配电力系统广域分布的拓扑特性，为终端设备提供本地化的计算支撑。

1.2 云计算的定义与特点

云计算是一种基于网络的资源共享与服务交付模式，通过将计算、存储等资源集中部署于远程数据中心，以按需分配、弹性扩展的方式为用户提供服务。在电力系统自动化中，云计算平台可整合全网数据资源，展现出独特优势：海量资源聚合，能集中大规模服务器集群的计算与存储能力，处理电力系统海量历史数据（如多年负荷数据、设备运行日志）、复杂仿真计算（如电网稳定分析、故障模拟）等大任务量业务；弹性扩展能力，可根据业务需求动态调整资源配置，在负荷高峰、电网检修等业务量激增时快速扩容，低谷时缩减资源，提高资源利用率；全局协同优化，通过汇聚全网运行数据，实现跨区域、跨层级的全局分析与决策，为电网调度、能源优化配置等提供全局最优方案。同时，云计算具备标准化的服务接口，便于集成各类电力应用系统，支持多用户、多业务的并行访问，为电力系统自动化提供集约化的技术支撑。

2 挑战

2.1 云计算的优势与挑战

云计算在电力系统自动化中展现出资源集中、全局优化的显著优势，但也面临多方面挑战。优势体现在：全局数据洞察，通过整合变电站、新能源场站、负荷中心的全量数据，可实现电网运行状态的全局感知，为跨区域调度、新能源消纳优化等提供数据支撑；高效资源利用，集中式资源调度避免了分散计算的资源闲置问题，资源利用率比传统本地计算提升30%-50%；低成本运维，云端集中运维替代分散设备的本地维护，减少人力与设备成本，同时便于系统升级与漏洞修复。挑战则集中在

三方面：时延敏感业务适配难，数据传输与云端处理的总时延通常在百毫秒级，无法满足继电保护、实时控制等毫秒级响应需求；网络依赖度高，一旦主干网络中断或拥塞，云端服务将无法向边缘终端提供支撑，影响业务连续性；数据安全风险，海量电力数据（含设备参数、运行状态等敏感信息）在传输与存储过程中，存在数据泄露、篡改的安全隐患，且集中式数据中心若发生故障，可能导致全网数据丢失。

2.2 边缘计算的优势与挑战

边缘计算凭借低时延、本地化的优势，成为电力系统自动化中终端数据处理的关键技术，但自身局限性也较为突出。优势主要包括：实时业务支撑，毫秒级的处理响应能力完美适配设备状态监测、故障快速隔离等时延敏感业务，可有效提升电力系统的控制精度与响应速度；网络抗干扰强，本地化处理减少对主干网络的依赖，即使在网络不稳定场景下，仍能保障基础业务运行；数据预处理高效，通过边缘侧数据过滤与特征提取，可剔除80%以上的无效数据，大幅减轻云端传输与存储压力。挑战则表现为：资源能力有限，边缘节点的计算、存储资源受限于部署空间与成本，无法处理电网全局仿真、海量历史数据分析等大任务量业务；协同调度难度大，电力系统中边缘节点数量多、分布广，各节点的资源配置、业务负载差异大，实现多节点协同处理与资源优化分配难度较高；运维复杂度高，分散部署的边缘节点需要本地化运维人员，且各节点硬件型号、软件版本可能不统一，增加了系统升级与故障排查的复杂度，同时难以实现全局统一的安全策略部署。

3 边缘计算与云计算协同的数据处理策略

3.1 资源协同策略

边缘计算与云计算的资源协同策略核心是实现“边缘本地化处理+云端集约化支撑”的资源优化配置，通过动态调度发挥两者的资源优势。资源分层调度是基础，将电力系统数据处理任务按资源需求分为三层：边缘层负责实时性强、数据量小的任务（如设备状态采集、本地控制），配置轻量级计算与存储资源；云端负责大任务量、全局化的任务（如全网负荷预测、系统仿真），提供大规模集群资源；同时增设“边缘网关层”，整合区域内多个边缘节点的资源，形成区域级资源池，处理中等规模任务（如区域配网优化）。资源动态分配通过协同调度平台实现，实时监测边缘与云端的资源负载（如CPU利用率、存储空间、网络带宽），当边缘节点资源紧张时，将非实时任务迁移至云端或区域资源池；

当云端出现网络拥塞时，将部分可本地化的任务下沉至边缘节点，实现资源负载均衡。此外，采用“弹性资源预留”机制，根据电力业务的周期性（如用电高峰、检修期）提前预留边缘与云端资源，确保关键业务的资源需求。

3.2 数据协同策略

数据协同策略旨在构建边缘与云端的数据流转与处理闭环，实现数据价值的分层挖掘与高效利用。数据分类处理是前提，根据数据特性与业务需求将电力数据分为三类：实时数据（如设备电流电压、故障信号）由边缘节点实时处理，仅将处理后的结果（如故障类型、设备状态标签）上传至云端；时序数据（如负荷曲线、新能源出力数据）由边缘节点按时间粒度聚合（如15分钟/次）后上传云端，用于趋势分析；历史数据（如设备运维记录、历年调度数据）直接存储于云端，用于长期分析与模型训练。数据流转优化通过“边缘预处理-云端深度分析-模型反馈边缘”的闭环实现：边缘侧对原始数据进行清洗、去重、特征提取，提升数据质量；云端利用海量数据进行深度挖掘（如构建负荷预测模型、设备故障诊断模型）；将训练好的模型下发至边缘节点，实现边缘侧的本地化智能决策，同时边缘节点将模型运行的新数据反馈至云端，持续优化模型精度。此外，采用“数据优先级传输”机制，故障信号、紧急控制指令等优先级数据优先传输，确保关键数据的实时性。

3.3 智能协同策略

智能协同策略通过引入人工智能技术，实现边缘与云端的智能任务分配、协同决策与自主优化，提升数据处理的智能化水平。智能任务分配基于机器学习算法实现，通过训练历史任务数据，建立任务特征（如时延要求、计算量、数据量）与处理节点（边缘/云端）的匹配模型，自动将任务分配至最优节点。例如，将时延要求<10ms的继电保护任务分配至边缘，将计算量>10GB的全网仿真任务分配至云端。协同决策优化针对跨层级电力业务（如配网故障定位、新能源消纳），采用“边缘局部决策+云端全局优化”的模式：边缘节点根据本地数据初步判断故障范围或新能源出力预测，云端结合全网数据进行全局校验与优化，生成最终决策方案，再下发至边缘执行。自主学习优化通过边缘与云端的模型协同训练实现，边缘节点利用本地实时数据进行模型增量训练，云端整合多边缘节点的训练结果进行全局模型更新，形成“分布式训练-集中式优化”的学习闭环，使模型既能适配本地业务特性，又能兼顾全局优化需求。

此外,引入强化学习算法,使协同系统能通过与电力环境的交互,自主优化资源分配与任务调度策略,提升系统的自适应性。

3.4 安全协同策略

安全协同策略是保障边缘与云端数据处理架构可靠运行的基础,需构建覆盖“边缘-传输-云端”全链路的安全防护体系。边缘侧安全防护聚焦终端设备与数据安全,采用设备身份认证(如基于区块链的分布式认证)防止非法设备接入;对边缘节点存储的敏感数据进行加密处理,同时部署入侵检测系统,实时监测异常访问与攻击行为;采用“最小权限原则”配置边缘节点的操作权限,限制数据访问范围。传输安全保障通过加密传输(如SSL/TLS协议)与传输控制实现,对边缘与云端之间传输的数据进行端到端加密,防止数据中途泄露或篡改;采用数据分片传输与校验机制,确保数据完整性,同时通过流量控制避免传输堵塞导致的安全漏洞。云端安全防护构建多层次防护体系,包括防火墙、入侵防御系统抵御外部攻击,数据备份与容灾系统防止数据丢失,安全审计系统记录所有数据操作行为,实现安全事件的追溯与分析。此外,边缘与云端采用统一的安全策略与密钥管理体系,实现安全状态的实时同步,当某一侧检测到安全威胁时,可快速向另一侧发出预警,协同采取防护措施(如隔离可疑设备、暂停数据传输)。

3.5 业务适配协同策略

业务适配协同策略需根据电力系统自动化中不同业务的特性,制定个性化的边缘-云端协同处理方案,确保协同架构与业务需求精准匹配。时延敏感业务适配针对继电保护、实时功率控制等业务,采用“边缘优先处理+云端事后分析”模式:边缘节点负责实时决策与执行,确保毫秒级响应;云端接收边缘上传的处理结果,进行事后校验、事件追溯与策略优化,提升业务可靠性。大任务量业务适配针对全网稳定分析、新能源消纳优化等业务,采用“云端主导+边缘辅助”模式:云端负责核心计算与全局决策,边缘节点协助采集与预处理区域内数据,为云端提供高质量的数据输入,同时执行云端下发的决策指令。分布式业务适配针对配网巡检、分布式新能源监控等业务,采用“边缘协同+云端统筹”模式:区域内多个边缘节点通过本地通信网络协同处理区

域内业务,实现故障快速定位与资源优化;云端则统筹各区域业务状态,实现跨区域协同与整体调度。此外,建立业务动态适配机制,通过实时监测业务运行状态与系统资源变化,自动调整协同处理模式,确保业务在不同工况下均能高效运行。

4 未来发展

随着电力系统自动化水平的不断提升,边缘计算与云计算协同的数据处理架构将呈现更加多元化与智能化的发展趋势。一方面,随着物联网、5G通信等技术的普及,边缘节点的接入能力与数据处理能力将显著增强,边缘计算将在电力系统自动化中发挥更加核心的作用。未来,边缘节点将不仅限于简单的数据预处理与实时响应,还将具备更高级的数据分析与决策能力,实现更加智能化的本地控制。另一方面,云计算平台将向更加高效、灵活、安全的方向发展。通过引入容器化、微服务架构等先进技术,云计算平台将实现资源的更精细粒度管理与更快速的服务部署,进一步提升数据处理效率与业务响应速度。同时,随着区块链、零信任网络等安全技术的成熟应用,云计算平台的数据安全防护能力也将得到显著增强,为电力系统自动化提供更加可靠的技术支撑。

5 结语

综上所述,边缘计算与云计算的协同为电力系统自动化提供了强大的数据处理能力,既发挥了云计算在资源聚合、全局优化方面的优势,又充分利用了边缘计算在实时响应、本地化处理方面的特长。两者相辅相成,共同推动了电力系统向更加智能化、高效化的方向发展。未来,随着技术的不断进步与应用场景的持续拓展,边缘计算与云计算的协同将在电力系统自动化中发挥更加重要的作用,为构建安全、可靠、高效的智能电网贡献力量。

参考文献

- [1]朱兰霞.电力系统自动化技术的发展与应用[J].产业创新研究,2025,(16):74-76.
- [2]刘禹含.计算机技术在电力系统自动化中的应用[J].软件,2025,46(07):137-139.
- [3]宋世超,阴其亮.电力系统自动化故障诊断与维护策略的研究[J].家电维修,2025,(07):143-145.