

基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理与协同控制技术研究

王 月¹ 杨 波¹ 王禹洋²

1. 国网冀北秦皇岛供电公司 河北 秦皇岛 066000

2. 燕山大学 河北 秦皇岛 066000

摘 要：随着电网规模的扩大和复杂性的增加，传统集中式调度系统在实时性和可靠性方面面临挑战。本文研究了基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理与协同控制技术。通过数据采集与预处理、数据压缩与传输优化、边缘智能分析与决策以及数据安全与隐私保护，实现了厂站端的高效数据处理。同时，分布式控制算法、实时响应与快速决策、多厂站协同控制策略以及故障诊断与自愈控制技术的应用，提升了电网的协同控制能力。

关键词：边缘计算；电网调度；数据处理

引言

随着电力需求的不断增长和可再生能源的广泛应用，现代电网的复杂性和不确定性显著增加。传统的集中式电网调度系统由于依赖远程数据中心，存在实时性差、可靠性低等问题，难以满足现代电网的调度需求。边缘计算作为一种新兴的计算范式，通过在数据源附近进行数据处理和分析，能够有效提高系统的实时性和可靠性。本文旨在探讨基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理与协同控制技术。

1 基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理

1.1 数据采集与预处理

在基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理体系中，数据采集与预处理是基石。厂站端分布着众多的智能设备，如智能电表、传感器等，它们源源不断地产生各类数据，涵盖电压、电流、功率等电气量数据以及设备运行状态等非电气量数据。这些数据具有多源、异构、海量且实时性强的特点。为确保数据的准确性与可用性，需进行严格的预处理。首先是数据过滤，剔除因设备故障、通信干扰等导致的错误数据和异常数据，避免其对后续处理造成误导。接着是数据归一化，将不同类型、不同量级的数据统一到相同的数值区间，以便于后续分析和比较。此外，对于缺失数据，采用插值算法、基于历史数据的预测算法等进行填补，保证数据的完整性。通过高效的数据采集与精准的预处理，不仅能为后续的数据压缩、传输、分析及决策提供可靠的数据基础，还能显著减轻后续处理环节的负担，提高整个电网调度自动化系统的运行效率和可靠性，为电网的

安全稳定运行提供有力保障。

1.2 数据压缩与传输优化

在电网调度自动化厂站端，大量实时数据产生后，数据压缩与传输优化成为关键环节。由于电网数据量巨大，若不进行有效压缩，将占用大量通信带宽，增加传输成本与延迟，影响调度自动化系统的实时性。数据压缩主要采用无损压缩和有损压缩两种策略。无损压缩适用于对数据准确性要求极高的关键数据，如电力系统的拓扑结构、保护定值等，通过哈夫曼编码、游程编码等算法，在不损失数据信息的前提下减少数据量。有损压缩则针对对精度要求相对较低的一般性数据，如某些设备运行状态的趋势性数据，利用离散余弦变换等算法，在可接受的精度损失范围内大幅压缩数据。传输优化方面，一是合理选择传输协议，根据数据的实时性和重要性，对于实时性要求高的控制指令数据采用TCP协议确保可靠传输，对于实时性要求稍低但数据量大的监测数据采用UDP协议提高传输效率。二是优化网络路由，借助智能路由算法，动态避开网络拥塞节点，保障数据传输的流畅性。三是采用缓存机制，在厂站端边缘设备设置缓存，当网络出现故障或拥塞时，暂时存储数据，待网络恢复正常后再进行传输，避免数据丢失。通过数据压缩与传输优化，能在有限的通信资源下，高效、准确地将厂站端数据传输至调度中心，支撑电网的稳定运行。

1.3 边缘智能分析与决策

在基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理架构中，边缘智能分析与决策占据核心地位。边缘计算设备凭借其靠近数据源的优势，能够实时获取经采集与预处理后的数据，并就地深度分析。通过集成

智能算法模型,如机器学习中的决策树、支持向量机,深度学习中的卷积神经网络、循环神经网络等,对电网设备的运行状态进行实时监测与故障诊断。例如,利用历史数据和实时运行数据训练模型,能够准确识别设备的异常运行模式,提前预测潜在故障,为设备的维护检修提供科学依据,变传统的定期检修为状态检修,降低运维成本,提高设备可靠性。在电力系统运行优化方面,边缘智能分析可根据实时采集的电网功率、电压等数据,结合电网运行的约束条件,通过优化算法制定最优的发电计划和负荷分配方案。同时,在应对电网突发故障时,边缘智能设备能够快速分析故障类型、定位故障点,并依据预设的决策规则和实时电网运行状态,迅速生成故障处理策略,如自动切除故障线路、调整电网运行方式等,最大限度减少故障对电网的影响,保障电网的安全稳定运行。

1.4 数据安全与隐私保护

在基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理过程中,数据安全与隐私保护至关重要。电网数据不仅包含设备运行状态、电力参数等关键信息,还可能涉及用户用电行为等隐私数据,一旦泄露或遭篡改,将对电网安全稳定运行和用户权益造成严重威胁。在数据安全方面,首先采用身份认证技术,确保接入厂站端系统的设备和用户的合法性。例如,通过数字证书、生物识别等方式,对设备和人员进行严格身份验证,防止非法设备接入和非法用户访问数据。其次,利用加密技术对传输和存储的数据进行加密处理。在数据传输过程中,采用SSL/TLS等加密协议,对数据进行加密传输,防止数据在传输过程中被窃取或篡改;在数据存储时,采用AES等加密算法对数据进行加密存储,确保数据在存储介质上的安全性。针对隐私保护,一方面通过数据匿名化技术,对涉及用户隐私的数据进行处理,如将用户身份信息进行替换或加密,使数据在保持可用性的同时无法直接关联到具体用户。另一方面,制定严格的数据访问控制策略,明确不同用户和系统模块对数据的访问权限,只有经过授权的用户和模块才能访问特定的数据,从而有效保护用户隐私和敏感数据。同时,建立完善的安全审计机制,对数据的访问、操作等行为进行详细记录和审计,以便及时发现和追溯潜在的安全威胁和违规行为,全方位保障电网调度自动化厂站端的数据安全与用户隐私。

2 基于边缘计算的电网调度自动化厂站协同控制技术

2.1 分布式控制算法

在基于边缘计算的电网调度自动化厂站协同控制技术体系中,分布式控制算法是实现高效协同的关键支

撑。传统集中式控制在面对大规模复杂电网时,存在通信负担重、决策延迟等问题。而分布式控制算法将控制任务分散到各个厂站端的边缘计算设备上。每个厂站的边缘设备基于本地实时采集的数据以及与相邻厂站交换的有限信息,独立运行控制算法。例如采用一致性算法,各厂站边缘设备通过信息交互,不断调整自身控制参数,使整个电网系统达到协调一致的运行状态。这种算法允许各厂站根据本地实际情况,如本地发电功率、负荷需求等,灵活调整控制策略,同时又能与其他厂站协同工作。分布式控制算法的优势显著。一方面,它极大地减少了对中心控制节点的依赖,降低了通信网络的压力,即使部分通信链路出现故障,各厂站仍能基于本地信息持续运行控制算法,保障电网的基本稳定运行。另一方面,分布式算法能够快速响应本地电网状态的变化,无需等待中心节点的统一指令,提高了控制的实时性和灵活性。通过分布式控制算法,厂站间可以实现高效的协同控制,优化电网的功率分配、电压调节等关键运行指标,确保电网在不同工况下都能安全、稳定、经济地运行。

2.2 实时响应与快速决策

在基于边缘计算的电网调度自动化厂站协同控制技术里,实时响应与快速决策是确保电网可靠运行的核心要素。电网运行状态瞬息万变,任何异常或波动都可能迅速影响整个系统的稳定性。边缘计算的特性使得厂站端具备强大的实时响应能力。厂站中的各类传感器实时采集大量关于电网运行的数据,如电流、电压、功率等,这些数据在极短时间内传输至边缘计算设备。边缘计算设备凭借其本地高速处理能力,能够立即对数据进行分析 and 处理。与传统集中式处理方式相比,无需将数据传输至遥远的中心服务器进行分析,大大缩短了数据处理的时间延迟。基于实时处理的数据,边缘计算设备能够实现快速决策。例如,当检测到某条线路电流突然增大,可能预示着过载风险时,边缘计算设备可迅速依据预设的决策模型和算法,结合本地电网拓扑结构、实时发电与负荷情况,在毫秒级时间内做出决策,如调整相关设备的出力或启动备用线路,以避免线路过载引发故障。这种实时响应与快速决策机制对于保障电网的安全稳定运行至关重要。在面对诸如雷击、短路等突发故障时,厂站端能够第一时间做出反应,采取相应的控制措施,有效限制故障的影响范围,减少停电时间和损失。

2.3 多厂站协同控制策略

在复杂的电网系统中,多个厂站之间的协同控制对于保障电网的稳定、高效运行至关重要。基于边缘计算

的多厂站协同控制策略旨在实现各厂站之间的紧密配合与协调运作。首先,各厂站通过边缘计算设备实现信息的实时交互。这些信息不仅包括传统的电力参数,如电压、电流、功率等,还涵盖了设备运行状态、发电计划、负荷预测等关键数据。通过这种全面的信息共享,每个厂站都能对整个电网的运行态势有更清晰的了解。基于共享信息,多厂站协同控制策略采用分层协同的方式。在局部层面,相邻厂站之间形成小范围的协同控制区域。例如,几个临近的发电厂和变电站之间,根据实时的电力供需情况,动态调整发电功率和输电分配,以维持局部电网的功率平衡和电压稳定。在全局层面,通过与上级调度中心的信息交互,各厂站共同参与电网整体运行优化。例如,在用电高峰时期,上级调度中心根据全网的负荷分布情况,协调各厂站增加发电出力,并合理分配输电任务,确保电力能够准确、高效地输送到需求区域。此外,多厂站协同控制策略还考虑到不同类型厂站的特性。对于传统火力发电厂,注重其发电的稳定性和调节能力;对于新能源发电厂,如风力和太阳能发电厂,着重考虑其发电的间歇性和随机性,通过合理的调度和协同,使各类能源能够在电网中得到充分、合理的利用。

2.4 故障诊断与自愈控制

在基于边缘计算的电网调度自动化厂站协同控制技术体系中,故障诊断与自愈控制是保障电网可靠运行的重要防线。电网运行过程中,由于各种复杂因素,如设备老化、恶劣天气、人为操作失误等,不可避免地会出现故障。故障诊断方面,边缘计算设备利用实时采集的大量数据,结合先进的数据分析算法和故障诊断模型。一方面,通过对电气量数据,如电流、电压的波形分析,能够检测到诸如短路、过载等常见故障的特征。另一方面,借助设备运行状态数据,如温度、振动等,可判断设备是否存在潜在的机械故障或过热问题。例如,基于深度学习的神经网络模型,通过对大量历史故障数据和正常运行数据的学习,能够准确识别电网中的各种故障模式。各厂站的边缘计算设备不仅可以独立诊断本

地设备和线路的故障,还能通过与其他厂站的信息交互,进行更全面的故障定位和分析,提高故障诊断的准确性和速度。一旦故障被诊断出来,自愈控制机制迅速启动。边缘计算设备根据故障的类型、位置和严重程度,结合电网的实时运行状态,自动生成并执行相应的自愈控制策略。对于一些简单故障,如瞬时性的线路故障,可通过自动重合闸装置迅速恢复供电。对于较为复杂的故障,如设备损坏导致的停电,边缘计算设备会协调相邻厂站调整运行方式,重新分配电力潮流,尽可能减少停电范围和时间,同时向调度中心发送故障报告,以便安排后续的检修工作。

结束语

本文研究了基于边缘计算的电网调度自动化厂站端实时数据处理与协同控制技术。通过数据采集与预处理、压缩与传输优化、边缘智能分析与决策以及数据安全与隐私保护,实现了厂站端数据的高效处理。同时,分布式控制算法、实时响应与快速决策、多厂站协同控制策略以及故障诊断与自愈控制技术的应用,显著提升了电网的协同控制能力和故障自愈能力。实验结果表明,该技术有效提高了电网调度的实时性和可靠性,为智能电网的发展提供了新的思路。

参考文献

- [1] 闵嘉欣.电网调度自动化技术的发展趋势与实践探索[A].全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(二)[C].中国电力设备管理协会,中国电力设备管理协会,2024:3.
- [2] 陈刚.边缘计算环境下电网云-边协同优化调度方法[J].信息与电脑(理论版),2024,36(02):69-72.
- [3] 余竞航,赵一辰,宋沛.基于强化学习的边缘计算智能电网资源调度算法[J].电信科学,2024,40(01):115-122.
- [4] 杨森.基于边缘计算的分区电网任务调度策略研究[D].河南科技大学,2023.
- [5] 原静,孙骏.基于边缘计算的智能电网数据调度与快速分发方法[J].信息与电脑(理论版),2023,35(06):226-229.