

电力系统自动化监控平台的多源数据融合技术研究与实践

侯聪团

河南灿迪电力科技有限公司, 河南许昌, 461111;

摘要: 随着电力系统的快速发展, 自动化监控平台在电力调度、运行管理等方面发挥着越来越重要的作用。然而, 由于电力系统数据来源的多样性, 如何实现多源数据的有效融合, 提高监控平台的智能化水平, 成为当前研究的热点。

关键词: 电力系统; 自动化监控平台; 多源数据融合技术

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 08. 015

引言

在当前智能电网建设的背景下, 电力系统自动化监控平台作为电力系统的核心组成部分, 承担着对电网运行状态的实时监测、数据分析与故障预警等重要任务。多源数据融合技术作为提升监控平台智能化水平的关键手段, 能够整合来自不同源头、不同格式的数据信息, 形成全面、准确、及时的电力系统运行状态视图, 为调度员和管理人员提供决策支持。

1 多源数据融合技术的分类与特点

根据数据处理层次的不同, 电力系统自动化监控平台中的多源数据融合技术可分为数据层融合、特征层融合与决策层融合三类, 各类技术具有不同的特点与适用场景。数据层融合是最低层次的融合, 直接对原始数据进行整合处理, 如对来自不同监测终端的同一电气量数据进行加权平均、数据清洗等。其特点是能最大限度保留原始数据的细节信息, 但对数据的一致性要求较高, 且处理的数据量庞大, 容易受数据噪声影响, 适用于数据源同源、格式统一的场景。特征层融合是先从各原始数据中提取具有代表性的特征信息(如故障时的电流突变特征、设备的温度变化趋势特征), 再对特征信息进行融合。该技术减少了数据处理量, 降低了噪声干扰, 同时保留了数据的关键信息, 是目前电力系统监控中应用较广泛的融合方式, 适用于故障诊断、状态评估等场景。决策层融合是最高层次的融合, 先对各数据源的信息进行独立分析并形成初步决策, 再通过融合算法对多个初步决策进行综合判断, 得出最终决策。其特点是具有较强的容错性, 即使某一数据源出现错误, 也不会严重影响最终决策结果, 但对初步决策的准确性要求较高, 适用于电力系统调度决策、重大故障应急处理等关键场景。

2 电力系统自动化监控平台多源数据融合面临的问题

2.1 数据异构性问题

数据异构性是电力系统自动化监控平台多源数据融合面临的首要难题, 主要体现在数据来源、数据类型与数据格式三个方面。从数据来源看, 电力系统的数据源分散且多样, 包括 SCADA 系统、EMS 系统、设备状态监测系统、气象监测系统等, 不同系统的建设标准、技术架构存在差异, 导致数据采集的频率、精度各不相同, 例如 SCADA 系统的电气量数据采集频率可达毫秒级, 而气象数据采集频率通常为分钟级或小时级。从数据类型看, 既有电压、电流等数值型数据, 也有设备运行状态(如“正常”“异常”)等字符型数据, 还有故障波形、设备图像等非结构化数据, 不同类型数据的处理方式差异较大。从数据格式看, 不同系统采用的数据存储格式各异, 如 XML、JSON、CSV 以及各类数据库专用格式等, 数据结构的不统一使得数据之间难以直接关联与整合。这种异构性导致多源数据在融合前需要进行大量的转换与适配工作, 不仅增加了融合的复杂度, 还可能在转换过程中丢失关键信息。

2.2 数据质量问题

数据质量直接决定了多源数据融合的效果, 当前电力系统自动化监控平台的数据质量存在诸多问题。一是数据缺失, 由于监测终端故障、通信中断、设备维护等原因, 部分数据无法正常采集, 导致数据序列不完整, 例如偏远地区的输电线路监测终端因供电故障, 可能出现长时间的数据缺失。二是数据噪声, 数据在采集、传输与存储过程中易受到干扰, 产生虚假数据, 如电气量数据采集时受电磁干扰出现的异常波动值, 通信传输时信号衰减导致的数据失真。三是数据冗余与冲突, 不同数据源可能采集同一指标的数据, 由于采集精度、时间差等原因, 这些数据之间可能存在重复或矛盾, 例如同一变电站的电压数据分别来自 SCADA 系统与就地监测终端, 两者数值存在偏差。四是数据时效性不足, 部分数

据因采集周期长、传输延迟等原因,无法及时更新,导致融合后的信息无法反映电力系统的实时运行状态。这些数据质量问题若不加以处理,会严重影响融合结果的可靠性,甚至导致监控决策出现失误。

2.3 数据融合效率问题

随着电力系统规模的扩大与监测终端的普及,监控平台的数据量呈爆炸式增长,数据融合效率不足的问题日益凸显。一方面,数据处理压力大,海量的多源数据需要经过清洗、转换、匹配等一系列预处理流程,再通过复杂的融合算法进行整合分析,传统的集中式数据处理架构难以承载如此庞大的计算任务,导致数据处理耗时过长,无法满足电力系统实时监控的需求。另一方面,融合算法的复杂度影响效率,部分高精度的融合算法(如基于深度学习的算法)需要大量的计算资源与训练时间,在面对实时性要求较高的场景(如故障快速诊断)时,往往因计算速度慢而无法适用。此外,数据传输效率也制约着融合效率,不同系统之间的数据传输依赖通信网络,当数据量过大或网络带宽不足时,容易出现传输拥堵,导致数据无法及时到达融合中心,延误融合处理进程。

3 电力系统自动化监控平台多源数据融合技术研究

3.1 数据预处理技术

数据预处理是多源数据融合的基础,其目的是解决数据异构性与数据质量问题,为后续融合处理提供高质量的数据支撑,主要包括数据标准化、数据清洗与数据对齐三项关键技术。数据标准化针对数据异构性问题,通过统一的数据转换规则,将不同来源、不同格式的数据转换为统一的格式与标准,例如将不同单位的功率数据统一转换为“兆瓦”,将非结构化的故障波形数据转换为结构化的特征参数,同时建立统一的数据字典,明确数据的定义、类型与属性,实现数据的互联互通。数据清洗主要解决数据质量问题,通过异常检测算法(如阈值法、聚类分析法)识别并剔除噪声数据与异常值;采用插值法(如线性插值、多项式插值)或基于机器学习的预测方法填补缺失数据;通过数据去重算法删除冗余数据,对冲突数据则结合数据源的可靠性权重进行取舍或修正。数据对齐则针对数据采集时间不一致的问题,通过时间同步技术(如NTP时间同步)统一各数据源的时间戳,将不同采集频率的数据调整为相同的时间粒度,确保数据在时间维度上的一致性,为后续的融合分析奠定基础。

3.2 数据融合算法研究

根据融合层次的不同,需针对性研究适配电力系统监控需求的数据融合算法。在数据层融合中,常用加权平均算法与卡尔曼滤波算法。加权平均算法根据各数据源的可靠性分配不同权重,对同一指标的多源数据进行加权计算,适用于数值型数据的初步融合;卡尔曼滤波算法则通过建立系统状态方程与观测方程,对动态变化的数据(如实时电流、电压)进行递推估计,有效抑制噪声干扰,提升数据的稳定性。在特征层融合中,主成分分析法(PCA)与神经网络算法应用广泛。PCA通过降维处理,从多源数据中提取最具代表性的主成分特征,减少数据冗余,简化融合复杂度;神经网络算法(如BP神经网络、卷积神经网络)则利用其强大的非线性拟合能力,对多源特征数据进行深度挖掘与整合,适用于设备状态评估、故障特征提取等场景。在决策层融合中,D-S证据理论与模糊综合评价法较为常用。D-S证据理论通过融合多个独立数据源的初步决策证据,计算证据的可信度,得出最终决策,具有较强的容错性;模糊综合评价法则将模糊数学与综合评价结合,对多源决策信息进行模糊处理与权重分配,适用于调度决策、系统运行风险评估等不确定性较强的场景。

3.3 数据融合效果评估

建立科学的融合效果评估体系,是检验多源数据融合技术有效性、优化融合策略的重要环节,评估体系应涵盖准确性、可靠性、实时性与有效性四个核心维度。准确性评估主要衡量融合后数据与真实值的偏差程度,通过对比融合结果与实际测量值(如通过高精度仪器测得的设备真实状态参数),计算误差率、均方根误差等指标,误差越小则准确性越高。可靠性评估聚焦融合结果的稳定性与容错性,通过模拟单一数据源故障、数据噪声干扰等场景,观察融合结果的变化情况,若融合结果受干扰影响小、仍能保持稳定,则说明可靠性强。实时性评估针对融合处理的效率,计算从数据采集到融合结果输出的总耗时,结合电力系统监控的实时性要求(如故障诊断需在秒级内完成),判断融合技术是否满足时间要求。有效性评估则关注融合结果对实际应用的支撑价值,通过分析融合结果在设备故障诊断、负荷预测、调度决策等实际场景中的应用效果,判断其是否能提升监控平台的运行效率与决策科学性。通过多维度的综合评估,可及时发现融合技术存在的不足,为算法优化、参数调整提供依据。

4 电力系统自动化监控平台多源数据融合实现策略

4.1 平台架构设计

采用“云-边-端”协同的分布式架构设计,是实现多源数据高效融合的关键。边缘层部署在靠近数据源的终端侧(如变电站、监测终端),主要负责数据的初步采集、预处理与边缘融合,通过在边缘节点部署轻量化的预处理算法与数据层融合算法,对本地数据进行清洗、标准化与简单融合,减少上传至云端的数据量,降低网络传输压力,同时实现局部故障的快速响应。云层作为核心处理层,依托云计算的强大算力与存储能力,部署特征层与决策层融合算法,对来自边缘层的融合数据进行深度整合与分析,完成设备状态评估、故障诊断、负荷预测等复杂任务,并生成调度决策指令。终端层则包括各类监测设备、控制终端与用户交互界面,负责数据采集与融合结果的落地应用,将融合后的监控信息实时展示给运维人员,同时执行云层下发的控制指令。此外,架构中需设置统一的数据中台,实现数据的集中管理、共享与调度,打破系统间的数据壁垒,为各层融合处理提供数据支撑;同时构建安全防护体系,通过数据加密、访问控制、入侵检测等技术,保障数据传输与处理过程的安全性。

4.2 数据采集与集成

建立“全域覆盖、多模态适配、动态更新”的数据采集与集成机制,确保多源数据的全面获取与高效整合。在采集范围上,实现电力系统全环节的数据覆盖,包括发电侧(机组运行参数、新能源出力)、输电侧(线路电气量、杆塔环境)、配电侧(配网负荷、用户用电)以及设备状态(温度、振动、油中气体)、气象环境、调度指令等多类型数据,通过部署智能传感器、监测终端等设备,构建全域感知网络。在采集方式上,针对不同数据源的特点采用适配的采集技术,对实时性要求高的电气量数据采用高速采集模块,对非实时性数据采用定时采集方式,对图像、波形等非结构化数据采用专用采集设备,同时支持 4G/5G、光纤、LoRa 等多种通信方式,确保数据传输的稳定性。在数据集成上,通过 ETL(抽取、转换、加载)工具与 API 接口,实现不同系统(SCADA、EMS、状态监测系统等)的数据接入,将采集到的原始数据传输至数据中台,经过预处理后形成标准化的数据集,同时建立数据目录与元数据管理系统,实现数据的可查询、可追溯,为融合处理提供统一的数据基础。

4.3 数据融合应用

推动多源数据融合技术在电力系统监控的关键场景落地应用,充分发挥其技术价值。在设备状态监测与故障诊断中,融合电气量数据、设备状态数据与环境数据,通过特征层与决策层融合算法,实时评估变压器、断路器等关键设备的健康状态,当识别到故障特征时,快速定位故障类型与位置,并自动触发预警机制,通知运维人员及时处理,降低设备故障风险。在负荷预测与调度优化中,融合历史负荷数据、实时用电数据、气象数据与经济指标数据,利用神经网络等融合算法精准预测短期与中长期负荷变化,辅助调度人员制定最优的发电计划、潮流调整方案与新能源消纳策略,实现电力系统的经济运行。在电网安全稳定控制中,融合全网运行数据、故障信息与新能源出力数据,通过决策层融合算法评估电网运行风险,当电网出现扰动或故障时,快速生成安全稳定控制策略,协调发电机组、储能系统与负荷控制装置动作,防止事故扩大,保障电网安全稳定运行。此外,在配网自动化与用户服务中,融合配网运行数据与用户用电数据,实现配网故障的快速自愈与用户用电的精准服务,提升供电可靠性与用户满意度。通过多场景的应用落地,将多源数据融合技术转化为电力系统监控的核心能力,推动电力系统向智能化、精细化管理转型。

5 结语

总之,电力系统自动化监控平台的多源数据融合技术面临着诸多挑战,但通过深入研究与实践,我们已取得了显著的进展。数据预处理技术的运用,有效解决了数据的异构性与质量问题,为后续融合处理奠定了坚实的基础。数据融合算法的不断优化与创新,提升了融合的准确性与效率,为电力系统的实时监控与智能决策提供了有力支持。同时,通过构建科学的融合效果评估体系,我们能够及时发现并解决融合技术存在的问题,推动技术的持续改进与完善。

参考文献

- [1]陈超,张顺仕,尚守卫,等.大数据背景下电力行业数据应用研究[J].现代电子技术,2023,36(24):8-11.
- [2]陈磊,黄在朝.基于物联网的输电线路状态监测技术在智能电网中的应用研究[J].现代电子技术,2022,35(21):7-9.
- [3]蔡琼,丁帅.软件服务化背景下的云服务可信评估研究[J].计算机应用研究,2022,32(4):967-971.