

面向电网调度自动化厂站端的多源数据融合与智能分析技术研究

杨波 王月 李航

国网冀北秦皇岛供电公司 河北 秦皇岛 066000

摘要: 随着电网规模的不断扩大和智能化水平的提升,电网调度自动化厂站端面临着多源异构数据融合与智能分析的挑战。本文首先探讨了多源数据融合技术,包括数据预处理、数据对齐与同步、多源异构数据融合算法及融合数据质量评价。接着,文章深入研究了智能分析技术,涵盖状态估计与故障诊断、设备健康状态评估、负荷预测与电力调度优化以及安全风险评估与预警。通过这些技术的研究与应用,旨在提高电网调度自动化厂站端的运行效率和安全性,为智能电网的发展提供技术支持。

关键词: 多源数据融合; 数据预处理; 数据对齐

引言

随着全球能源需求的不断增长和可再生能源的快速发展,电网结构日益复杂,传统的电网调度方式已难以满足现代电网的需求。电网调度自动化厂站端作为电网运行的核心环节,面临着海量多源异构数据的处理与分析挑战。这些数据来源于不同的传感器、设备和系统,具有不同的格式和语义,给数据融合和分析带来了巨大困难。为了提高电网的运行效率和安全性,研究面向电网调度自动化厂站端的多源数据融合与智能分析技术显得尤为重要。

1 面向电网调度自动化厂站端的多源数据融合

1.1 数据预处理技术

在电网调度自动化厂站端,多源数据存在数据缺失、噪声干扰、数据格式不一致等问题,严重影响数据后续的分析与应用,因此数据预处理技术至关重要。首先是数据清洗,由于厂站端设备运行环境复杂,数据采集过程中可能混入异常值与噪声数据。例如,传感器偶尔出现故障会导致采集到明显偏离正常范围的数据,通过设定合理的数据阈值范围、采用基于统计分析的方法,如 3σ 原则来识别并剔除这些异常数据,同时利用插值法、均值填充法等对缺失数据进行填补。其次是数据转换,不同设备采集的数据格式、单位等可能不同,如电压数据有的以千伏为单位,有的以伏为单位,需统一单位;对于分类数据,可能需进行独热编码等转换,以满足后续处理需求。再者是数据归一化,将不同范围的数值型数据归一化到特定区间,如 $[0, 1]$ 或 $[-1, 1]$,避免因数据数值范围差异大,导致某些特征在分析中权重过大,影响模型性能。通过这些数据预处理技术,能够提

升数据质量,为后续的数据融合与分析奠定坚实基础。

1.2 数据对齐与同步方法

电网调度自动化厂站端的多源数据来自不同的设备和系统,其采集频率、时间戳等存在差异,为实现有效融合,数据对齐与同步方法必不可少。时间同步是关键环节,厂站端众多设备的时钟可能存在偏差,可采用全球定位系统(GPS)、北斗卫星授时系统等高精度时间源对设备时钟进行校准,确保各设备采集数据的时间准确性与一致性。对于采集频率不同的数据,需进行重采样处理。例如,某些设备以秒级频率采集功率数据,而另一些设备以分钟级频率采集电压数据,对于低频数据可采用插值法进行上采样,如线性插值、样条插值等,将其采样频率提升至与高频数据一致;对于高频数据可通过均值法、中位数法等进行下采样,降低数据量的同时保留关键信息。在数据对齐过程中,还需考虑数据的时间戳标识,以时间戳为基准,将不同来源的数据按时间顺序排列。

1.3 多源异构数据融合算法

在电网调度自动化厂站端,多源异构数据具有不同的结构、类型和语义,需要有效的融合算法来挖掘数据间的潜在关系与价值。基于特征级融合的算法,先对不同数据源的数据进行特征提取,如从电流、电压等电气量数据中提取幅值、相位、频率等特征,从设备状态监测数据中提取设备运行温度、振动频率等特征,然后将这些特征进行融合。主成分分析(PCA)算法可用于降低特征维度,去除冗余信息,在保留主要特征的同时减少数据量,提高后续处理效率。基于决策级融合的算法,先由各个数据源独立进行分析和决策,如基于神经

网络对设备故障数据进行故障诊断,得出初步诊断结果,再将这些决策结果进行融合。常用的决策融合方法有投票法,根据各数据源的诊断结果进行投票,得票最多的结果作为最终诊断结果;贝叶斯融合法,利用贝叶斯理论结合各数据源的先验概率和条件概率,计算最终的后验概率,得出融合决策。还有基于数据级融合的方法,直接对原始数据进行融合处理,例如对于图像数据和文本数据,可采用深度学习中的自编码器模型,将不同类型的数据映射到同一特征空间进行融合。

1.4 融合数据质量评价

对电网调度自动化厂站端融合后的数据进行质量评价,是确保数据可靠应用于电网调度决策的重要环节。准确性评价方面,需对比融合数据与实际电网运行的真实值,可通过实地测量、高精度监测设备获取的参考数据作为比对基准。例如,将融合后的功率数据与现场功率计量表的读数进行对比,计算误差率,误差率越低表明数据准确性越高。完整性评价,检查融合数据是否存在缺失值,不仅要关注关键数据指标的完整性,如电网的关键节点电压、线路电流等,还要检查数据时间序列的完整性,确保在规定的时间内无数据中断。一致性评价,考量融合数据在不同数据源之间、不同时间点之间的一致性。比如,不同设备采集的同一母线电压数据在融合后应保持一致,若出现较大偏差则说明数据一致性存在问题。时效性评价,评估融合数据是否能及时反映电网运行状态的变化,由于电网运行状态实时变动,数据的延迟可能导致调度决策失误,需设定合理的时间阈值,确保数据在采集、传输、融合处理后能在规定时间内更新。

2 面向电网调度自动化厂站端的智能分析技术

2.1 状态估计与故障诊断

在电网调度自动化厂站端,状态估计与故障诊断是保障电网可靠运行的关键智能分析技术。状态估计旨在通过对厂站端各种实时测量数据的分析处理,如母线电压、线路电流、功率等,来准确估计电网的运行状态。由于实际测量数据存在误差和缺失,状态估计需运用特定的算法进行数据处理。常用的加权最小二乘法,通过对不同测量数据赋予不同权重,以减小误差对估计结果的影响,从而更精确地计算出电网各节点的电压幅值和相角等状态量。这不仅为调度人员提供了全面、准确的电网实时运行信息,还为后续的故障诊断等分析奠定基础。故障诊断则是在状态估计的基础上,利用采集的电气量数据、设备运行状态信号以及历史故障数据等多源信息,快速准确地判断电网设备是否发生故障以及故障

的类型和位置。基于人工智能的故障诊断方法近年来得到广泛应用,如神经网络,通过对大量历史故障样本的学习,构建故障特征与故障类型之间的映射关系,从而实现对新故障的快速诊断。决策树算法则以树形结构对数据进行分类,根据故障特征的不同取值进行逐步判断,确定故障类型。此外,基于专家系统的故障诊断方法,将电力领域专家的经验 and 知识以规则的形式存储在知识库中,通过对实时数据的推理分析,判断故障情况。状态估计与故障诊断相互配合,状态估计提供准确的运行状态信息,为故障诊断提供数据支持;故障诊断则基于状态估计结果,及时发现并定位故障,保障电网的安全稳定运行,对提高电网调度自动化水平具有重要意义。

2.2 设备健康状态评估

设备健康状态评估是面向电网调度自动化厂站端智能分析技术的重要组成部分,对于保障电网设备可靠运行、合理安排设备维护计划具有关键作用。电网厂站端设备众多,包括变压器、断路器、互感器等,其运行状态直接影响电网的稳定性和供电可靠性。设备健康状态评估需综合考虑多方面因素,采集设备的运行数据,如运行时间、负载情况、温度、振动等,以及检修记录、故障历史等信息。利用传感器实时监测设备的关键运行参数。例如,通过变压器油色谱分析获取油中溶解气体的成分和含量,以此判断变压器内部是否存在过热、放电等潜伏性故障;通过监测断路器的分合闸次数、动作时间等参数,评估其机械性能。然后,运用数据分析方法对采集的数据进行处理。基于数据挖掘技术,从大量历史数据中挖掘设备性能退化的规律和特征。例如,采用聚类分析方法,将设备运行状态数据进行分类,找出正常状态和异常状态的数据模式。结合机器学习算法构建设备健康状态评估模型。常用的支持向量机(SVM)算法,通过寻找最优分类超平面,将设备状态数据分为不同的健康等级,能够有效处理小样本、非线性问题。深度学习中的循环神经网络(RNN)及其变体长短期记忆网络(LSTM),由于其对时间序列数据的处理能力,能够很好地捕捉设备运行状态随时间的变化趋势,对设备未来的健康状态进行预测。

2.3 负荷预测与电力调度优化

负荷预测与电力调度优化是电网调度自动化厂站端智能分析技术中紧密关联且至关重要的环节,对于保障电网安全、稳定、经济运行起着关键作用。负荷预测旨在通过对历史负荷数据、气象信息、社会经济数据等多源信息的分析,预测未来一段时间内的电力负荷需求。

时间序列分析方法是常用的负荷预测手段之一,它基于负荷数据的时间依赖性,通过对历史负荷数据的建模,如自回归积分滑动平均模型(ARIMA),来预测未来负荷值。随着人工智能技术的发展,神经网络在负荷预测中展现出强大优势,特别是多层感知机(MLP)和卷积神经网络(CNN)。MLP能够处理复杂的非线性关系,通过对大量历史数据的学习,捕捉负荷变化的内在规律;CNN则可有效处理具有空间特征的数据,如结合地理区域的负荷分布数据进行预测。此外,考虑到气象因素对负荷的显著影响,将温度、湿度、风速等气象数据作为输入特征,能够进一步提高预测精度。电力调度优化则是在负荷预测的基础上,根据电网的发电能力、输电线路容量、设备运行约束等条件,合理安排发电计划,优化电力资源分配。传统的电力调度优化方法主要基于数学规划,如线性规划、整数规划等,通过建立目标函数和约束条件,求解最优调度方案,以实现发电成本最小化、电网运行损耗最小化等目标。然而,随着电网规模的不断扩大和运行复杂性的增加,智能优化算法逐渐成为主流。遗传算法模拟生物进化过程,通过选择、交叉和变异等操作,在解空间中搜索最优调度方案;粒子群优化算法则模拟鸟群觅食行为,通过粒子间的信息共享和协作,寻找最优解。

2.4 安全风险评估与预警

安全风险评估与预警是电网调度自动化厂站端智能分析技术的重要防线,对于保障电网安全稳定运行、预防事故发生具有不可替代的作用。电网运行环境复杂多变,受到自然因素、设备故障、人为操作等多种因素影响,存在诸多潜在安全风险。安全风险评估旨在全面分析电网运行状态,识别潜在风险因素,并量化风险程度。评估过程首先收集电网的各类数据,包括电网拓扑结构、设备参数、实时运行数据、历史故障记录等。基于这些数据,采用潮流计算方法分析电网在不同运行工况下的电压分布、功率传输等情况,判断是否存在电压越限、线路过载等安全隐患。同时,运用故障模式与影响分析(FMEA)方法,对电网中各类设备可能出现的

故障模式进行分析,评估其对电网运行的影响程度。此外,考虑到外部因素的影响,如恶劣天气对输电线路的影响,通过建立气象-电网耦合模型,评估气象因素引发电网故障的风险。在安全风险评估的基础上,构建预警系统及时发出警报,提醒调度人员采取相应措施。预警系统利用实时监测数据和风险评估结果,设定合理的预警阈值。例如,当线路电流接近过载阈值时,系统发出预警信号。基于人工智能的预警方法能够更准确地预测潜在风险,如利用深度学习中的长短时记忆网络(LSTM)对电网运行数据进行实时监测和分析,提前发现异常趋势并发出预警。通过安全风险评估与预警,将风险防控关口前移,使调度人员能够提前制定应对策略,避免事故发生,保障电网的安全稳定运行,为社会经济发展提供可靠的电力保障。

结束语

本文针对电网调度自动化厂站端的多源数据融合与智能分析技术进行了深入探讨。通过研究数据预处理、对齐与同步、异构数据融合算法及数据质量评价,我们为多源数据的高效融合提供了理论依据和技术支持。同时,通过对状态估计与故障诊断、设备健康状态评估、负荷预测与电力调度优化以及安全风险评估与预警的研究,我们为电网的智能分析提供了新的思路和方法。这些技术的应用将显著提高电网的运行效率和安全性,为智能电网的发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]董思豆,李悦,杨晓红.面向需求侧响应的智能电网电力调度自动化系统设计[J].自动化应用,2024,65(22):48-50.
- [2]毛宏亮.面向电网调度领域语音识别后的文本纠错方法研究[D].新疆师范大学,2023.
- [3]郭晓军,刘华毅.面向对象技术在电网调度自动化系统前置机软件中的应用[J].计算机系统应用,2001,(10):37-40.
- [4]蔡洋.新要求 新发展——面向21世纪的电网调度自动化[J].电力系统自动化,1998,(12):1-4.
- [5]黄惠君.浅谈宁夏电网调度自动化的发展趋势[J].宁夏电力,1996,(04):11-14.