

电气工程智能化中的数据融合技术研究

刘艺霖 缙明哲

(甘肃烟草工业有限责任公司天水卷烟厂 甘肃 天水 741020)

摘要 为探索数据融合技术在电力系统中的应用效益,文中通过实时数据分析和多源信息整合,研究了其在智能电网、配电自动化以及电动汽车充电基础设施管理中的实际应用。采用数据采集、状态监测、需求预测、优化控制等方法,系统性地评估了数据融合对提升设备运行效率、故障检测准确性和充电站管理效果的影响。结果表明,数据融合技术优化了电力设备预测性维护工作,提高了充电基础设施的运营效率,增强了电网的整体稳定性。该技术在降低能源消耗和运营成本方面具备巨大的潜力,为电力系统的持续优化和智能化管理提供了重要支持。

关键词: 数据融合技术;智能电网;配电自动化

中图分类号 TP399

Research on Data Fusion Technology in Intelligent Electrical Engineering

LIU Yilin and GOU Mingzhe

(Gansu Tobacco Industry Co., Ltd. Tianshui Cigarette Factory, Tianshui, Gansu 741020, China)

Abstract In order to explore the application benefits of data fusion technology in power systems, this paper studies its practical applications in smart grids, distribution automation, and electric vehicle charging infrastructure management through real-time data analytics and multi-source information integration. Using methods such as data collection, condition monitoring, demand forecasting, and optimization control, the impact of data fusion on improving equipment operation efficiency, fault detection accuracy, and charging station management was systematically evaluated. The results show that data fusion technology significantly optimizes power equipment predictive maintenance, improves the operation efficiency of charging infrastructure, and enhances the overall stability of the power grid. This technology has great potential to reduce energy consumption and operating costs, providing important support for the continuous optimization and intelligent management of power systems.

Key words Data fusion technology, Smart grid, Distribution automation

0 引言

在电力系统管理中,数据融合技术对提升智能电网、配电自动化和电动汽车充电基础设施的效率和可靠性具有重要影响^[1]。有效的数据融合能优化资源配置,提高故障响应速度和准确性,降低运营成本。本文探讨了数据融合在提升电力设备运行效率和维护策略有效性中的应用,希望能为研究人员提供借鉴与参考。

1 数据融合技术概述

1.1 数据融合的层次结构

在电气工程智能化中,数据融合技术的层次结构分为数据级融合、特征级融合和决策级融合。不同融合方法适用于不同的应用场景,应根据具体需求合理选择与优化,提高电气工程系统的智能化水平。数据级融合可以直接整合多个数据源的原始数据,通过线性加权方法($X_f = \sum_{i=1}^n w_i X_i$)

来提升数据的精确性,适用于高精度要求的场景。然而,数据级融合需要高精度的传感器校准和数据同步,且数据量大,计算成本高。特征级融合可以对经过预处理的数据进行特征提取,以整合主要特征,减少数据冗余和处理复杂度。特征级融合常采用主成分分析(PCA)和线性判别分析(LDA)等算法,用特征向量组合 $F_f = \sum_{j=1}^m \alpha_j F_j$ 表示,可应用于模式识别和机器学习领域。决策级融合则可以整合各独立数据源或模型的分析结果,通过加权平均法($D_f = \sum_{k=1}^p \beta_k D_k$)来提高决策的可靠性和鲁棒性,适合于多传感器系统的高层次决策支持。

1.2 数据融合技术的类型

在电气工程智能化领域,数据融合技术可分为基于传感器的融合和基于算法的融合。基于传感器的融合依托于多传感器网络,通过集成处理多个传感器采集的数据来提升系统的感知能力与数据准确性,适用于智能电网等高精度实时监测场景。然而,传感器融合对设备的同步性与校准

作者简介:刘艺霖(1993—),本科,助理工程师,研究方向为电气工程。

精度要求较高,且传感器数量的增加会加大数据处理的复杂度,并提高对计算资源的需求。基于算法的融合方法能借助数学模型与算法对数据进行处理和优化,如卡尔曼滤波与贝叶斯推理。卡尔曼滤波可通过递归的方式更新状态预测并进行误差测量,可用于线性动态系统的状态估计,具备高效性。卡尔曼滤波如式(1)所示:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k(z_k - H\hat{x}_{k|k-1}) \quad (1)$$

其中, $\hat{x}_{k|k}$ 为更新后的状态估计, $\hat{x}_{k|k-1}$ 为预测的状态估计, K_k 为卡尔曼增益, z_k 为观测值, H 为观测矩阵。

贝叶斯推理则基于概率统计,通过计算后验概率来处理问题的不确定性。其核心思想是根据贝叶斯定理更新事件的概率分布,用于融合不确定性信息和多样化的信息源。贝叶斯推理在处理复杂的不确定性问题时表现优异,可用于决策分析、模式识别和诊断系统,如式(2)所示:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

其中, $P(A|B)$ 为在事件 B 发生后事件 A 的后验概率, $P(B|A)$ 为事件 A 发生时事件 B 发生的概率, $P(A)$ 为事件 A 的先验概率, $P(B)$ 为事件 B 的先验概率。基于传感器和基于算法的数据融合各有优势和适用场景。前者更注重多源数据的集成和实时性,适用于感知层面;后者则通过算法优化信息处理过程,适用于决策层面。

1.3 数据融合的关键技术

数据融合在电气工程智能化中的应用依赖于多种关键技术,其中数据预处理、数据集成与管理至关重要。(1)数据预处理是确保数据质量的基础,主要包括数据清洗、归一化和滤波等过程,如图1所示。其中,数据清洗可以去除噪声、异常值和冗余信息,确保数据的完整性和准确性。归一化可以将数据转换到统一的尺度上,以消除量纲的影响,以便后续的分析 and 融合。滤波则可用于消除传感器数据中的高频噪声,增强信号的平滑性和稳定性。(2)数据集成与管理可通过数据仓库、数据湖等技术,建立集成化的数据管理平台,以支持大规模数据的存储、检索和分析。数据集成首先需要将不同来源的数据转换为统一的格式,通过数据映射和转换工具实现语义一致性;采用数据管理技术来组织和索引数据,以支持高效的查询和分析操作。数据管理系统(见图2)通常包括数据接入层、数据存储层和数据分析层,各层之间通过标准接口和协议进行交互,以保证数据的完整性和安全性。

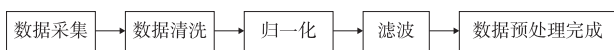


图1 数据预处理的流程图

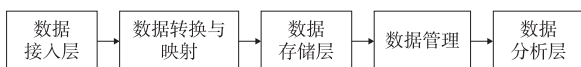


图2 数据集成与管理的架构图

2 电气工程智能化中的数据融合应用

2.1 智能电网中的数据融合

在智能电网中,多源数据融合技术的应用提升了电网运行的稳定性和效率。通过整合不同来源的信息,如传感器数据、天气预报、用户用电负荷等,智能电网能实现实时监测和动态响应,提高故障检测的准确性和响应速度^[2]。整合多源数据不仅能实现更全面的电网状态感知,还能为电力调度和负载管理提供可靠的数据支持。表1展示了某智能电网的多源数据整合效果。

表1 智能电网多源数据整合在故障检测中的性能

数据源	数据类型	故障检测准确率/%	平均响应时间/s
传感器数据	电流、电压、频率	98.5	0.5
天气数据	温度、湿度、风速	96.2	1
负荷数据	用户用电负荷	97.8	0.8
综合数据融合	综合多源数据	99.3	0.3

单一数据源在故障检测中存在一定的局限性。传感器数据由于其直接性与实时性,具备较高的故障检测准确率和较短的响应周期,但局部信息的不完整性影响了其全面性。天气数据和负荷数据为系统提供了环境和需求侧的动态信息,尽管其检测准确率略低,响应时间稍长,却为传感器数据提供了必要的补充。通过多源数据的融合处理,智能电网故障检测的准确率提升至99.3%,响应时间缩短至0.3 s,显著提高了故障检测的准确性与系统运行效率,增强了电力系统的整体稳定性。

2.2 配电自动化中的数据融合

配电网状态估计依托多源数据的集成,包括电流、电压、频率等传感器数据,以及实时负荷信息和环境监测数据,能准确识别电网的运行状态及潜在故障。融合后的多源数据通过先进算法(如加权最小二乘法或粒子滤波法)精确定故障点的位置与性质,并提供可靠的故障定位基础。配电自动化系统可借助这种数据分析和处理能力,提升电网的自愈能力和稳定性。在该过程中,数据流和控制命令的传递至关重要,其流程如图3所示。完成数据采集后,通过融合模块进行数据集成与处理,形成电网的状态估计数据,用于异常检测和故障定位。当检测到故障时,系统会快速生成相应的控制命令,指示现场设备执行操作,如隔离故障段或切换备用电源,并更新状态信息,确保电网的正常运行。持续的监测和数据更新进一步保证了配电网的可靠性和安全性。数据融合技术的精确性和实时性为配电系统的自动化高效运行提供了关键支持,推动了智能配电网的发展。

2.3 电力设备的预测性维护

在现代电力系统中,预测性维护技术可通过实时监测

设备运行状态和分析未来趋势,提高电力设备的可靠性,为设备寿命管理提供支持。如图4所示,设备健康监测系统通常包括数据采集、数据预处理、特征提取、状态评估、健康预测和维护决策等多个层次。数据采集层可以收集电流、电压、温度、振动等数据,并通过数据预处理层去除噪声和异常值,确保数据的准确性和一致性。特征提取模块可以分析数据中的关键特征,为状态评估模块提供基础,再通过算法模型如神经网络和支持向量机(SVM)对设备的健康状态进行评估。健康预测模块则基于状态评估结果来预测设备的未来运行状况,生成维护策略,以延长设备的使用寿命,提高设备运行效率。

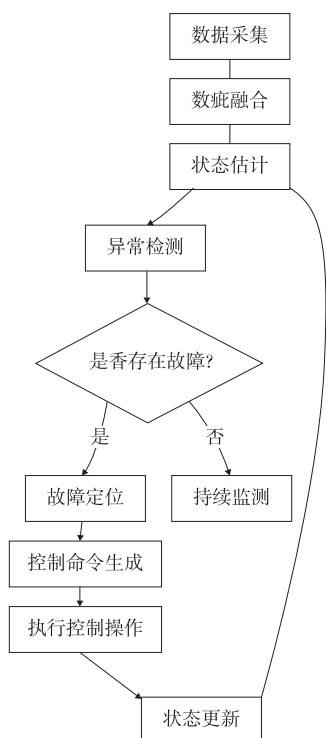


图3 配电网状态估计和故障定位的工作流程



图4 预测性维护工作流程

在健康状态监测和预测性分析中,不同设备类型的监测结果和分析数据可以提供详细的设备状态和性能信息。表2显示了变压器、发电机、高压断路器和电力电容器的健康状态评分、预测性分析准确度及实际寿命延长情况。

表2 不同电力设备的健康状态监测与预测性分析结果

设备类型	健康状态评分	预测性分析准确度/%	实际寿命延长/h
变压器	95	98.7	1 200
发电机	90	97.5	1 500
高压断路器	85	96.8	800
电力电容器	92	99.1	1 100

可以看到,所有设备的健康状态评分均相对较高,预测性分析准确度超过了96%,证明了预测模型的有效性。通过监测和分析,设备的实际寿命得以延长,降低了维护成本和设备更换频率。在状态评估和健康预测中,常用的模型公式包括基于贝叶斯推理的健康状态概率更新公式,其能更新设备的健康状态,进而进行精确的预测性维护决策,如式(3)所示:

$$P(H_t|D_t) = \frac{P(D_t|H_t) \cdot P(H_t)}{P(D_t)} \quad (3)$$

其中, $P(H_t|D_t)$ 表示在时间 t 基于数据 D_t 的设备健康状态的后验概率, $P(D_t|H_t)$ 为在给定健康状态 H_t 下观察到数据的 D_t 似然, $P(H_t)$ 为健康状态的先验概率, $P(D_t)$ 为数据的边际概率。

2.4 电动汽车充电基础设施管理

在电动汽车充电基础设施管理中,数据融合技术的应用提高了充电站的运营效率和服务质量。如图5所示,该技术系统架构包括数据采集、数据融合处理、状态监测、需求预测和优化控制等模块。数据采集模块能从传感器和各种数据源获取实时信息,如车辆数量、充电站负荷、电力价格、天气状况等。融合处理模块能对这些数据进行整合与分析,提供全局的动态视图。状态监测模块可基于融合数据对充电站进行实时监控,反映充电状态和设备运行情况。需求预测模块可利用历史数据和当前状态,通过机器学习算法进行电力需求预测。优化控制模块则能根据预测结果和实时情况动态调整充电策略,优化电力分配,以提高充电效率,降低运营成本。数据融合系统可通过精确的电力需求预测和优化控制策略,提高资源利用效率^[3]。表3展示了某充电站应用优化策略前后的效果,包括充电时间、电力需求预测准确性等。

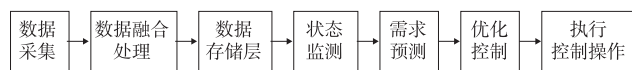


图5 电动汽车充电站的数据融合系统架构

表3 电动汽车充电站优化策略效果分析

指标	优化前	优化后	提升率
平均充电时间/min	45	30	33.30%
电力需求预测准确率/%	85	95	11.80%

可以发现,该充电站应用优化策略后,平均充电时间从45 min 缩短至30 min,充电效率提高了33.3%;电力需求预测准确率从85%提高到95%,提升了11.8%。结果表明,应用数据融合技术和优化控制策略后,充电站能在提升服务质量的同时实现更高的运营效率和成本效益。优化控制策略不仅包括充电时段内的功率调整和负载平衡,还应通过电力价格的波动情况优化电力采购策略,降低峰谷电价差异对运营成本的影响。

3 结语

数据融合技术在电力系统中的应用增强了操作效率和决策精度,特别是在智能电网、配电自动化、电动汽车充电等基础设施的管理中。通过整合多源数据,预测性维护不仅延长了设备寿命,还提高了运营的可靠性和成本效率。未来,技术的发展和算法的优化还将促进电力系统的智能化发展,推动能源安全,实现环境的可持续性发展。

(上接第 288 页)

5 结语

工业大模型优化是一个复杂的系统工程,需要在数据、模型、算法和部署等多个层面协同推进。通过深入分析工业场景特点,采用数据增强、模型轻量化、分布式优化等技术手段,能有效提升工业大模型的性能表现。未来,还需进一步探索新型优化算法、强化领域知识融合、完善部署框架,推动工业大模型在实际应用中发挥更大价值,为工业智能化转型提供有力支撑。

参考文献

[1] 郑延明,姚一凡,邱劲松,等.人工智能的经济效应:研究

参考文献

[1] 梁杰.智能化工程检测中的传感器融合与数据分析技术研究[J].新潮电子,2024(2):94-96.
[2] 高崇,唐俊熙,张俊潇,等.多元数据融合的智能配电网负荷分析预测管理系统[J].电测与仪表,2024,61(3):113-123.
[3] 黄小庆,陈颀,田世明,等.电动汽车充电站规划、运行中的大数据集成应用[J].电网技术,2016,40(3):762-767.
[4] 李博,宣金鸽,薛艳敏,等.基于视觉因素的地铁调度人机界面优化设计评价[J/OL].图学学报,1-11[2025-02-08].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1034.T.20241008.1442.002.html>.
[5] [1]周辉,闫文光.中国人工智能算力产业发展的规制困境及其解决路径[J].北京工业大学学报(社会科学版),2025,25(1):87-102.
[4] 叶俊民,尹兴翰,于爽,等.生成式人工智能赋能学习分析:价值内涵、实践框架及发展路向[J].电化教育研究,2025(1):86-92.
[5] 张明浩.“数控自动化”电影工业理论与实践——从阿诺德·盖伦工业观到“电影数控自动化机械臂”工业实践[J].民族艺术研究,2024(6):33-44.