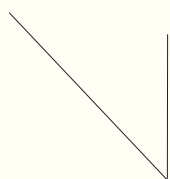


配电通信系统中基于多源数据融合的状态感知与智能诊断模型研究

文 ◆ 江苏华晟信息科技有限公司 高 扬



引言

传统的配电通信系统主要依赖人工操作和基于规则的诊断方法，面临着设备复杂性日益增加、运行环境不断变化、突发故障频发等挑战，其本身的影响因素使传统的故障诊断方法显得力不从心，无法及时、准确地识别故障源及其传播路径，从而影响了配电网的可靠性与稳定性^[1]。随着配电网的规模扩展和智能化需求的增加，配电通信系统的数据维度和种类也迅速增加，来自设备监测、通信链路、环境变化、负荷波动等多个方面的数据汇聚到系统中^[2]。这些多源异构数据虽

然为监控和诊断提供了更多的信息支持，但也带来了数据融合、异常检测和故障诊断等方面的技术难题。本研究提出一种基于多源数据融合的智能诊断模型，利用先进的深度学习、图神经网络和贝叶斯推理等技术对配电通信系统进行状态感知与故障诊断。该模型通过集成来自通信链路、智能终端、传感器等多维度数据，提升了故障检测的准确性和及时性，并为配电系统的自愈与优化决策提供了理论支持，为配电通信系统的智能化改造提供创新的解决方案，为智能电网的安全稳定运行打下坚实的技术基础。

1 配电通信系统的架构与原理

配电通信系统是现代电力系统中不可或缺的重要组成部分，主要用于实现配电网内设备间的通信与信息传输。其核心目标是保障配电网各设备间的实时信息交换，支持智能化调度、故障监测以及系统自愈等功能。配电通信系统通常由 3 个主要部分构成，即通信网络、终端设备与数据管理系统。

1.1 通信网络

通信网络是配电通信系统的基础设施，负责实现配电网各个环节之间的数据传输。根据不同的应用场景和需求，配电通信网络可采用多种技术，通常包括光纤通信、无线通信（如 GPRS、Wi-Fi）、PLC（电力线载波通信）等。在智能配电系统中，通信网络的稳定性和高效性直接影响到系统的实时性与可靠性。

1.2 终端设备

终端设备包括配电网中的各类智能设备，如智能电表、远程终端单元（RTU）、智能开关、传感器等^[3]。这些设备通过通信网络将现场数据（如电流、电压、温度等）实时上传至中心系统或云端，便于集中监控和管理。同时，终端设备能够接收上级指令，执行开关操作、调整设备参数等。终端设备的精准性与高效性是配电通信系统稳定运行的关键。

1.3 数据管理系统

数据管理系统是配电通信系统的“大脑”，负责处理、存储和分析

【作者简介】高扬（1987—），男，江苏徐州人，硕士研究生，中级工程师，研究方向：通信与信息系统。

来自终端设备的数据。系统通过对大量数据进行分析,帮助运维人员实时掌握配电网的运行状态,及时发现潜在问题,并提供决策支持。数据管理系统通常结合 SCADA 系统(监控与数据采集系统)和 DMS 系统(配电管理系统),实现对配电网的全面监控与智能调度。

2 基于多源数据融合的配电通信系统状态感知方案

2.1 多源数据采集与预处理技术

在配电通信系统中,数据源种类较多,包括电力设备的运行数据(电流、电压、温度)、通信链路的性能数据(带宽、丢包率、延迟)、环境监测数据(湿度、温度)以及来自智能终端与传感器的实时数据等。由于数据在时间戳、采样频率、数据格式以及精度等方面存在较大差异,因此数据预处理是比较重要的一环^[4]。数据预处理的关键技术主要包括数据清洗、数据归一化、数据去噪以及数据缺失值填充等。

2.2 特征提取与深度学习技术

配电通信系统由于数据源多,存在多个维度,在对数据源进行处理时常常只能提取出故障的外在特征。因此,利用深度学习技术(主要包括卷积神经网络 CNN 以及递归神经网络 RNN 等深度学习模型),能够自动挖掘数据中未知的模式、非线性的特征。应用实践中将多源数据进行融合处理形成高维特征向量,再使用深度学习模型进行特征选择和降维,从而提取与系统运行状态相关性强的特征。例如,使用卷积神经网络处理时序数据能够获取时序数据中的局部与全局特征;递归神经网络处理有序数据(如设备的运行时间顺序)能够挖掘出其中的时序依赖关系。

2.3 多模态数据融合与决策模型

除了配电业务中的部分标准化数据外,配电通信需要融合环境数据、视频数据和来自配电运维人员的大量操作记录等不同模态数据(时间、图像、文字等),而如何高效地将多模态数据融合在一起并从中提取出能够支撑准确状态感知的决策依据,是实现配电精准状态感知的关键。多模态数据融合常用的融合方法有加权融合、特征级融合、决策级融合等,而在加权融合中,根据数据的重要性和可靠性等因素为每种数据赋予权重,最终将多种数据源的信息通过加权平均融合。

3 基于多源数据融合的配电通信系统的智能诊断模型设计

3.1 异常检测与故障预测算法设计

配电通信系统的大部分数据属于时序数据,如电流、电压、链路延时等,这类数据具有连续性和周期性特征。在异常检测过程中,首先利用自编码器(Autoencoder)对时序数据进行重构。自编码器由编码器和解码器构成,编码器对输入数据进行压缩并映射至低维特征空间;解码器则基于这些低维特征完成数据重构^[5]。训练阶段仅采用正常数据对模型进行训练,使模型学习数据的普遍模式。当输入新数据时,模型会计算重构误差,若该误差超过预设阈值,对应数据点即被判定为异常点。本设计采用长短期记忆网络(LSTM)对时序数据进行建模,以捕获数据的远期依赖关系。通过学习设备运行状态的历史数据,构建能够反映系统正常运行趋势的模型,从而及时探测偏离正常趋势的异常事件,如设备性

能恶化、通信链路延时增加等。

配电通信系统包含传感器数据、通信网络数据、设备数据等多种数据类型。为充分利用这些多源、多类型数据的信息价值,本文提出基于加权融合的多模态异常检测方法。针对不同数据源异常检测模型,采用加权融合策略,通过在线调整数据源间的加权融合方法与策略,自动确定各类数据源在异常检测中的可靠性和相关程度。具体而言,首先对每个数据源分别执行孤立森林(IsolationForest)、K-means 聚类等经典异常检测算法,获取各数据源的局部异常行为。其次,通过加权方式对上述数据源的异类结果进行融合。最后,完成综合异常判定。这种加权融合算法能够有效应对数据源的异质性问题,并通过整合多源数据,提升异常检测的可信度。

此外,故障预测并非针对异常行为的检测,而是对故障或隐患发生的概率进行预测和分析,其核心是推算电网运行过程中未来可能发生的故障或隐患的概率。因此,本文采用卷积神经网络(CNN)和长短期记忆网络(LSTM)的联合网络分析多维时序数据。CNN 用于提取时序数据中的局部特征,LSTM 用于捕获时序依赖关系,使模型能够精准理解设备或通信链路的运行状态。同时,将该联合网络与贝叶斯网络(Bayesian Network)构建的因果模型相融合,基于历史数据和当前监视数据,进一步推算设备或链路发生故障的可能性及其影响范围。

3.2 智能诊断与决策支持模块设计

在配电通信系统中,智能诊

断与决策支持模块是实现高效故障检测、诊断和决策的核心部分。基于多源数据融合的智能诊断模块能够通过综合各类数据来源，分析系统状态，并生成智能决策。

3.2.1 基于图神经网络（GNN）的智能诊断

图神经网络（GNN）通过构建设备间的拓扑关系图捕捉设备和通信链路的相互作用，为智能诊断提供深度理解支持。在该方法中，每个设备节点对应配电通信系统的一个组件，节点间的边则表征设备间的通信和依赖关系。借助 GNN，系统既能在节点层面开展状态评估，又能在边层面分析设备间的故障传播模式。

具体而言，可利用图卷积网络（GCN）实现对配电系统设备的状态感知。该网络通过节点间的信息传递与聚合，不断更新各节点的状态信息。此方法能够高效融合通信链路状态、电力传感器数据、环境条件等多源数据，进而实时评估系统各部分的健康状态与运行风险。同时，GNN 具备处理设备间复杂依赖关系的能力，可挖掘隐性故障链条，有助于及时定位并隔离故障，提升系统的鲁棒性。

3.2.2 基于强化学习的决策支持系统

为提升故障应对的智能化水

平，可采用强化学习（RL）技术设计决策支持系统。该系统通过模拟不同故障场景，利用历史数据训练智能体，使其能在实时运行过程中依据当前状态作出最佳决策。当故障发生时，强化学习模型可评估不同的操作方案，如设备重启、负载转移、备用设备启用等，并以最小化停机时间和损失为目标选择最优策略。此模型通过奖励机制优化决策过程。当智能诊断模型识别出潜在故障时，强化学习模型能够实时反馈系统当前状态，并基于对系统未来状态的预测动态调整决策策略。通过持续迭代训练，模型可逐步适应不同的操作环境，提供智能化的维护建议和故障恢复方案，从而有效减少人为干预，提升配电系统的自愈能力。

3.2.3 基于贝叶斯推理的故障风险评估

在智能诊断与决策支持系统中，贝叶斯推理方法被广泛应用于故障风险评估。借助贝叶斯网络模型，系统可根据传感器数据、设备历史故障记录和实时运行数据计算故障发生的概率，并评估其影响范围。该方法不仅能够量化故障风险，还能提供不同故障类型的后果分析，为决策提供数据支持。具体实现中，贝叶斯网络以节点表示系统的不同状态（如设备运行状态、链路质量等），以边表示这些状态的概率依赖关系。基于实时输入的数据，系统能够更新状态信息，进而推算故障发生的条件概率。由于贝叶斯推理具备处理不确定性和复杂因果关系的能力，因此适用于多源数据融合后的推理任务，可辅助运维人员做出精准的维护决策和资源调度。

结语

基于多源数据融合的配电通信系统智能诊断模型设计，以其创新的技术架构和多层次的分析方法，为配电通信系统的智能化管理和故障诊断提供了坚实的理论与技术支持。通过多源数据的有效融合，结合图神经网络（GNN）、强化学习（RL）和贝叶斯推理等先进技术，系统能够实现对配电网络状态的全面感知、精准的故障诊断以及高效的决策支持。该模型不仅提升了系统的故障预测能力和应对灵活性，还通过智能化机制提高了配电系统的自愈性和抗风险能力。通过动态的决策支持与风险评估策略，系统能够在复杂和不确定的环境中做出快速反应，有效保障配电通信网络的安全、稳定与高效运行。

引用

[1] 陈嘉,田志峰,吕为,等.新型智能化配电网通信柜的研制[J].中国设备工程,2023(18):33-35.

[2] 韩晋,谢思先,范坤,等.基于5G通信的配电网自愈控制系统的设计[J].电力信息与通信技术,2025,23(2):86-93.

[3] 钦伟勋.基于通信技术的配电自动化系统设计与优化[J].集成电路应用,2024,41(12):210-211.

[4] 张洋,郭赵君.大规模新能源接入下的电网通信网络优化[J].光源与照明,2024(11):231-233.

[5] 李军.输配电及用电工程中大数据分析 with 5G 通信技术的应用研究[J].中国宽带,2024,20(11):168-170.

