

# Exploration of the Application of Artificial Intelligence in Fault Diagnosis of Power Information and Communication

Pingshan Fang

State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Yichang Power Supply Company, Yichang, Hubei, 443000, China

## Abstract

With the continuous expansion of the scale of the power system and the increasing complexity of information and communication networks, traditional fault diagnosis methods have been unable to handle massive heterogeneous data in a timely manner and achieve rapid and accurate location, making it difficult to meet the high reliability and real-time requirements of the smart grid. This study addresses the issues of concealed fault characteristics, complex correlations, and insufficient diagnostic efficiency in power information and communication networks. It explores the application of artificial intelligence technology in fault diagnosis in this field, constructs a deep learning fault feature extraction model and a graph neural network relationship reasoning framework, thereby achieving multi-source alarm data fusion analysis and intelligent root cause inference of faults. Experiments show that this method can improve the accuracy and speed of diagnosis by mining the potential correlations of fault events. Compared with traditional methods, it has stronger adaptability in complex and changeable situations, thus providing a new technical path for the intelligent operation and maintenance of power communication networks. At the same time, it also lays a practical foundation for ensuring the safe and stable operation of the power system and promoting the reliable data transmission of the energy Internet.

## Keywords

Artificial intelligence; Fault diagnosis; Power communication

## 人工智能在电力信息通信故障诊断中的应用探索

方平山

国网湖北省电力有限公司宜昌供电公司, 中国·湖北 宜昌 443000

## 摘要

随着电力系统的规模不断扩大、信息通信网络变得愈发复杂,传统的故障诊断方法已经无法及时处理海量异构数据和实现快速精准定位,很难满足智能电网所要求的高可靠性与实时性。本研究针对电力信息通信网络故障特性隐蔽、关联性复杂以及诊断效率不足的问题,探索运用人工智能技术在该领域开展故障诊断工作,构建起深度学习故障特征提取模型以及图神经网络关系推理框架,从而实现多源告警数据融合分析以及故障根因智能推断。实验显示,该方法可以通过挖掘故障事件潜在的关联,提高诊断的准确率以及速度。和传统方法相比,其在复杂多变的情况下的适应性更强,从而为电力通信网络智能化运维方面提供了新技术路径,同时也为保障电力系统安全稳定运行、推动能源互联网可靠数据传输开展奠定了实践基础。

## 关键词

人工智能; 故障诊断; 电力通信

## 1 引言

当前,电力信息通信网络故障诊断主要是采用规则库、专家经验以及静态阈值监测的方法。这类方法依靠运行人员对设备特性以及网络结构的理解,通过人工来设定告警门限开展故障定位以及告警关联方面的逻辑关系的梳理和处理流程的去处理工作。但是在面对不断增长的光传输网、调度数据网以及配用电通信网络,由于这些网络存在层级深、拓扑关系复杂、业务类型多样的特性,传统方法在规则维护成本、告警风暴抑制以及多点链路故障的根因识别方面愈发吃力。诊断过程通常需要大量人工参与审核以及二次判读,故障处理的效率以及准确性极大程度上依赖骨干工程师的经

验,难以形成可扩展、可迁移的知识体系<sup>[1]</sup>。

在数据方面,电力信息通信网络所产生的监测数据呈现出海量、异构、高维等特性,涵盖了网管告警、性能计数器、流量数据、日志、工单等数据拓扑信息以及智能终端和边缘设备的多源状态数据。传统诊断方式大多基于单一网元或者系统的局部指标,缺乏开展跨域、跨专业数据统一建模以及融合分析的能力,难以捕捉到故障时空演化模式。在实时性方面,规则匹配以及人工分析在面对突发大规模告警、间歇性隐性故障以及链路质量劣化等场景时,响应比较慢,无法在毫秒到秒级这样的时间段内,实现关键业务承载链路风险预警以及快速定位的工作,这相较于新型电力系统对高可靠以及低时延通信保障的要求,差距十分明显。

## 2 面向故障诊断的人工智能核心理论与模型构建

### 2.1 基于深度学习的多源故障特征智能提取模型

在电力信息通信系统当中，告警数据来源多样、结构异构而且易受到的噪声干扰，传统依靠人工规则以及浅层统计特征来开展处理的方法无法有效地刻画大规模告警序列里的深层模式。开展深度学习多源故障特征智能提取模型的构建工作，能够实现端到端地自动从原始数据当中学习关键表征，针对网络设备日志、链路性能指标、信令追踪记录以及业务质量监测等多源告警，运用多通道输入结构，分别去设计离散告警序列、时序性能曲线和文本化告警描述的嵌入层以及时序编码模块，实现不同模态特征的统一映射以及对齐工作，为后续故障定位以及类型识别工作提供高维并且区分度强的特征空间<sup>[2]</sup>。

在开展具体模型设计工作的时候，可以将卷积神经网络结合循环或者自注意力结构，去处理对告警时间序列的局部模式以及长依赖关系，通过注意力机制来自适应地突出那些与故障演化高度相关的关键告警片段以及关键指标变化区间。针对多源异构输入，可以开展共享-私有双通道特征抽取子网络的构建工作，来提取不同告警源的共性故障表征，并且保留各类设备以及链路场景所特有的特征，在高层通过把特征进行拼接或者加权融合来实现统一编码的操作；结合标签监督信号对深度网络进行端到端训练，让模型能够在海量的历史故障样本当中持续开展特征表示能力的优化工作，从而在复杂且存在多扰动的运行环境下，稳健地去处理关键故障征兆的识别工作，进而为后续的智能诊断决策提供支撑。

### 2.2 基于图神经网络的故障关联关系推理框架

将多源故障特征进行统一编码后，引入图结构来对电力信息通信系统当中的设备、链路、业务以及告警事件开展关联建模，这样更契合实际运维场景的拓扑以及因果关系。把网络设备、逻辑功能单元以及业务承载路径等进行抽象，将其当作图中的节点，将物理连接关系、配置依赖关系和历史故障共现关系建模为不同类型的边，可构建多关系、有向属性图，将时序告警嵌入作为节点特征或边特征输入图神经网络。图神经网络借助邻域聚合以及消息传递机制，来开展在多跳范围内逐层整合拓扑结构和告警特征的工作，使得与潜在根因节点相邻的下游设备告警能够对它的表征形成“反向增强”，从而在全局视角下，形成更具有判别力的、关于故障传播模式的描述<sup>[3]</sup>。

围绕着根因推断任务，可以在图神经网络输出层开展节点级分类或者排序模块的设计工作，去估计各候选节点发生根因故障的概率。为了对故障时间的演化情况进行刻画，可以构建动态图神经网络，将不同时间片的告警图进行串联，通过时序聚合单元来捕获故障从局部异常发展到大规模扩散的过程，进而减弱单一时刻告警快照所存在的信息不完

全方面的问题。在模型训练阶段，可以借助已经标注好的历史故障单作为监督信号来使用，选用交叉熵损失或者排序损失函数来开展参数更新工作，并且对比不同拓扑规模、告警密度以及噪声水平下的推断精度和收敛速度，对图神经网络框架用于大规模电力信息通信网络根因诊断的适用性以及鲁棒性开展验证工作。

### 2.3 多模型融合的智能诊断系统架构设计

构建基于特征提取以及关系推理模型来开展的多模型融合智能诊断系统，在系统方面实现“特征-图建模-推理-决策”端到端的闭环。原始多源数据会先被送入统一特征编码模块，通过深度学习模型来开展联合抽取时间、频率以及统计特征的工作，进而输出标准化的高维嵌入向量；随后，把这些向量和实时网络拓扑、业务承载路径以及历史运维知识一起输入到图建模模块中，构建一个包含设备节点、业务节点和事件节点的多关系属性图。图神经网络开展根因概率推断工作后，将各候选节点的置信度、告警强度以及影响范围等信息汇总到决策融合模块，并且通过规则引擎和学习型融合器协同来开展处理工作，给出最终故障定位结果以及处置建议，从而实现从数据感知到故障决策的一体化联动<sup>[4]</sup>。

## 3 人工智能诊断模型的实验验证与性能分析

### 3.1 实验环境设置与多源故障数据集构建

本研究通过电力信息通信系统仿真平台以及部分真实运行数据环境来开展实验工作。仿真平台以典型省级电网调度数据网结构为模板，开展构建包含主干传输网、接入汇聚层以及终端业务接入层的多层级拓扑的工作，同时对光传输设备进行配置路由交换设备及安全防护节点。网络业务侧开展模拟调度自动化、保护信息、生产管理以及视频监控等多业务并发场景的工作，注入链路中断、节点失效、路由震荡、拥塞丢包、时钟漂移以及安全攻击等多类型故障，生成具备时间序列以及拓扑关联特性的仿真故障数据的工作；真实环境的数据是源自某区域电网信息通信运维记录，当中包含了告警日志、网元性能指标以及故障处理工单，经过匿名化和脱敏处理之后，用来开展模型验证工作。

多源故障数据集是由告警序列、流量以及性能指标、拓扑结构信息和运维文本记录等多模态数据所构成的，告警以及性能数据会按照时间窗口来开展序列化建模，把故障触发前后的上下文演化过程保留下来；拓扑数据通过图结构来表示网元节点以及链路关系，从而为图神经网络进行推理故障传播路径的工作提供输入；文本数据借助专业词典以及分词规则来开展关键故障特征的提取工作，并且提取处理标签。数据集按时间段与故障类型划分为训练集、验证集与测试集，保持不同场景、不同故障等级的分布一致性，并针对样本类别不平衡问题采用过采样与代价敏感权重相结合的方式，提高模型对罕见高危故障的识别能力。

### 3.2 诊断性能评估指标与对比方案设计

为了开展全面评估人工智能诊断模型有效性以及工

程适用性的工作，本研究从诊断准确性、效率以及鲁棒性等方面来构建评价体系。在准确性方面，选用准确率即 Accuracy、召回率 Recall、F1 值以及故障定位精度这四个核心指标，来衡量模型对故障发生以及节点进行识别的综合能力；在效率方面引入平均单次诊断时延以及单位时间可处理告警数量，用来反映模型在大规模并发告警场景当中的实时响应能力；在鲁棒性方面，运用不同故障强度以及告警噪声比例下的性能保持率以及罕见高危故障识别率，来考察模型在复杂工况以及数据质量波动的时候所具备的稳定性。所有指标会在统一测试集以及统一运行环境当中进行计算，保证对比结果能够公平且可重复。

如图 1，在对比方案设计当中，将本研究的多模型融合智能诊断系统和传统基于规则来开展的专家系统、单一机器学习分类器（比如随机森林）以及不含拓扑信息的深度神经网络基线模型进行一次横向对比。各个模型运用相同的训练、验证以及测试数据划分策略，统一开展告警预处理以及特征归一化流程，将传统方法的规则阈值、特征选择和模型超参数来进行网格搜索优化，避免由于进行调参工作不充分而导致不公平的对比情况出现。在实验当中设置了低、中、高业务负载以及不同告警噪声水平的场景，统计各个模型在这些场景下的评估指标，通过相对提升率与显著性检验，来分析人工智能诊断模型相较于传统方案在提高准确度以及缩短诊断时间方面的优势，为了给后续工程的推广工作提供量化方面的依据。

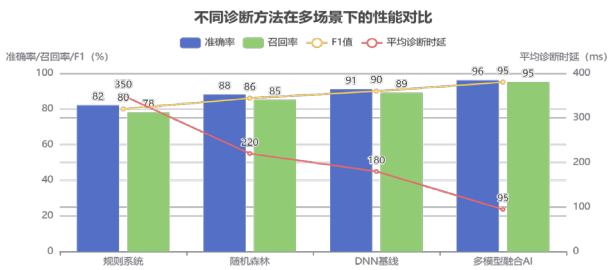


图 1 不同诊断方法在多场景下的性能对比

### 3.3 结果分析与模型在复杂场景下的适应性讨论

实验结果显示，多模型融合智能诊断系统在各种各样的场景当中，其综合性能明显优于其他方法。在统一测试集上，其准确率、召回率以及 F1 值相对于规则系统、传统机器学习模型以及普通 DNN 都有了显著的提高，尤其是当告警样本分布不均衡、故障类型多样时，F1 值保持在一个

较高的水平上，这表明了模型在开展减少漏检工作的同时，还能够有效地去处理抑制误报方面的工作。

在复杂工况以及多故障叠加的场景当中，模型的适应性以及鲁棒性方面的优势会更加突出。如果告警噪声比例提高，以及链路间存在级联故障或者区域性失效，则基于图神经网络的故障关联推理框架能够借助拓扑结构以及时序依赖信息，将分散异常告警开展归并工作，形成关键故障源，从而使故障定位的精度保持在一个较高的水准上。多源特征深度学习模块在部分数据出现丢失情况或者传输不正常的时候，依旧可以开展有区分度的潜在特征提取工作，其性能保持率比对比模型更优。同时，将关键告警节点权重、故障传播路径以及特征贡献度进行可视化，可以帮助运维人员理解诊断结果的决策依据，提高模型在工程实践当中的可解释性和可接受度。

## 4 结语

本研究针对电力信息通信网络故障诊断所面临的像异构数据处理难度大、根因定位效率不高、复杂场景适应性较差等问题，开展人工智能技术在故障特征提取方面应用的探索关联推理以及智能诊断决策当中的应用路径。文章通过构建起深度学习多源特征提取模型以及图神经网络故障传播推理框架，来实现告警数据、拓扑结构以及业务承载关系的深度融合并且开展协同建模。实验结果表明，所提出的多模型融合智能诊断系统在准确率、召回率、诊断时延以及鲁棒性等方面很大程度上优于传统方法，特别是在多故障叠加、告警噪声干扰以及数据缺失等复杂工况当中，还能保持良好的性能稳定性和可解释性。但同时需要看到，目前的研究存在着数据集规模有限、真实场景部署未能得到充分验证等方面的不足。未来可以引入多模态大模型、联邦学习以及自进化诊断机制，实现模型泛化能力的提升，还可以增强跨域迁移以及持续学习能力，实现高可靠，低时延的通信保障。

## 参考文献

- [1] 王睿,齐放天,宗永强,等. 基于人工智能的电力设备运维实践与发展[J].中国科技信息,2025,(23):45-47.
- [2] 刘茂彬,李雪,张哲宇,等. 人工智能在电力网络安全技术中的应用[J].能源新观察,2025,(10):71-72.
- [3] 文高翔,姜婷婷. 人工智能技术在电力输电线路安全运行中的应用[J].数字技术与应用,2025,43(10):25-27.
- [4] 赵仕特. 人工智能技术在电力骨干通信网故障诊断中的运用分析[J].通讯世界,2025,32(09):88-90.