

基于人工智能的电力系统故障诊断方法研究

涂雪晴

湖北省黄石市阳新县供电公司, 湖北 黄石 250101

摘要 : 当下随着电力系统规模的不断扩大和结构的日益复杂, 相关行业对其故障诊断的准确性和及时性提出了更高要求。而传统故障诊断方法在面对海量数据和复杂故障模式时逐渐地显露出其局限性。对此本文深入地研究了基于人工智能的电力系统故障诊断方法, 且在分析了人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用现状的基础上, 探讨了多种人工智能算法在故障诊断中的原理、优势, 同时还对该领域的发展趋势进行了展望, 希望能够为提升电力系统运行的可靠性和稳定性提供理论支持。

关键词 : 人工智能; 电力系统; 故障; 诊断方法

Research on Fault Diagnosis Method of Power System Based on Artificial Intelligence

Tu Xueqing

Yangxin County Power Supply Company, Huangshi, Hubei 250101

Abstract : With the continuous expansion of the scale of the power system and the increasing complexity its structure, the accuracy and timeliness of fault diagnosis in the power system have been put forward higher requirements by relevant industries. However, traditional fault diagnosis methods have gradually their limitations in the face of massive data and complex fault patterns. In view of this, this paper makes an in-depth study of the fault diagnosis method of the power based on artificial intelligence. On the basis of analyzing the current application status of artificial intelligence technology in the fault diagnosis of the power system, the principles and advantages of various intelligence algorithms in fault diagnosis are discussed. At the same time, the development trend of this field is also expected to provide theoretical support for improving the reliability and stability of power system operation.

Keywords : artificial intelligence; power system; fault; diagnosis method

引言

电力系统作为现代社会的重要基础设施, 其中任何故障的发生都可能会导致大面积停电, 进而给社会经济带来巨大损失。因此准确、快速地诊断电力系统故障, 并及时地采取有效的修复措施, 对于保障电力系统的可靠供电是至关重要的。但是传统的故障诊断方法主要是基于专家经验和简单的数学模型, 它难以适应现代电力系统复杂多变的运行环境。此时人工智能技术的快速发展, 为电力系统故障诊断提供了新的思路和方法, 其能够有效地处理海量数据, 且准确地识别复杂故障模式, 从而提高故障诊断的效率和准确性。

一、电力系统故障诊断概述

电力系统的故障种类繁多, 当中包括短路故障、断路故障、设备故障等。而故障诊断的过程就是通过对电力系统运行状态的监测, 以获取相关的电气量数据, 如电压、电流、功率等, 接着运用特定的诊断方法, 来判断故障是否发生、故障的类型、位置以及严重程度。通常一个完善的电力系统故障诊断系统应具备实时监测、准确诊断、快速报警和辅助决策等功能^[1]。

二、传统电力系统故障诊断方法及其局限性

(一) 基于专家系统的故障诊断方法

专家系统是将领域专家的经验 and 知识以规则的形式存储在知识库中, 再通过推理机对实时采集的数据进行分析推理, 从而判断出故障。它具有知识表达直观、易于理解等优点。然而专家系统存在知识获取困难、知识更新缓慢、对复杂故障诊断能力有限等问题^[2]。同时随着电力系统的发展, 新的故障模式在不断地出

现，而专家系统难以快速地适应这些变化。

（二）基于解析模型的故障诊断方法

基于解析模型的方法是以电力系统的数学模型为基础，通过比较实际测量值与模型计算值的差异来诊断故障。虽然该方法具有理论基础坚实、诊断准确性较高的优点。但由于建立精确的电力系统数学模型难度较大，且模型参数易受运行环境变化的影响，所以会导致诊断结果的可靠性下降^[3]。

（三）基于信号处理的故障诊断方法

基于信号处理的方法主要是对电力系统中的电气信号进行分析，从中提取特征量来识别故障。目前常用的信号处理技术包括傅里叶变换、小波变换等。尽管这种方法能够有效地处理非平稳信号，但对于微弱故障信号的提取和识别能力有限，并且容易受到噪声地干扰。

三、人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用

（一）神经网络

1. 基本原理

神经网络（Artificial Neural Network, ANN）是从仿生学角度出发，其核心是模拟人类大脑神经元结构与功能，以构建出复杂的计算模型。该网络的基本组成单元是神经元节点，就如同大脑中的神经元，能够相互连接且构成一个庞大而复杂的网络结构^[4]。通常在电力系统故障诊断的实际应用场景中，神经网络承担着从海量故障样本数据里挖掘出关键信息的双重任务。

以多层前馈神经网络（Multilayer Feed-forward Neural Network）为例，它是一种典型且应用广泛的神经网络结构。一般该网络在运行过程中，首先会通过输入层接收来自于电力系统实时监测的各类电气量数据，它们是反映电力系统运行状态的重要指标。接着数据将被传递至隐含层，而隐含层是神经网络的核心处理区域，其中包含多个神经元，且每个神经元都会对输入数据执行非线性变换操作，此时数据中蕴含的复杂故障特征被逐步地挖掘和强化，最终会在输出层输出明确的故障诊断结果。

2. 应用优势

神经网络凭借其独特的结构和运行机制，展现出了多方面的显著优势。一方面它具备强大的自学习能力，其在面对大量电力系统故障样本数据时，无需人工预先设定复杂的规则和特征提取方式，即可自主地从数据中学习到故障模式与故障类型之间的内在映射关系。例如某地区电网的故障诊断实践中，神经网络通过持续地对历史故障数据进行学习训练，逐渐地掌握了不同故障场景下电气量数据的变化规律，从而能够准确地识别新出现的故障情况^[5]。

另一方面是其自适应能力使其能够很好地适应电力系统复杂多变的运行环境。具体表现为，随着电力系统的不断发展和运行条件的动态变化，无论是负荷的波动、设备的老化还是外部环境因素的影响，神经网络均能通过自身参数的调整来适应这些变化，一直保持着相对稳定的故障诊断性能。

（二）支持向量机

1. 基本原理

支持向量机（Support Vector Machine, SVM）是基于统计学学习理论发展而来的一种高效分类方法，其核心思想在于寻找一个最优分类超平面，以此将不同类别的样本数据清晰地划分开来。通常在二维空间中，分类超平面会表现为一条直线，而在高维空间里，它则是一个超平面。对于电力系统故障诊断的具体应用来说，一般会将电力系统的故障样本和正常运行样本作为训练数据输入到支持向量机模型中。

支持向量机的学习算法致力于在样本空间中找到一个能够使两类样本之间的间隔最大化的超平面。而这个间隔被称为“margin”，使得间隔最大化的目的是为了提升分类器的泛化能力，使模型在面对新的数据样本时依然能保持较高的分类准确性。因此支持向量机引入了拉格朗日乘法，可将原问题转化为对偶问题进行求解。在求解的过程之中，只有那些位于间隔边界上的样本点（即支持向量）对确定最优分类超平面起到关键作用，其他样本点的影响相对较小。最终支持向量机能够在有限的样本数据下，构建出高效的分类模型，以此能够实现对电力系统故障的准确分类诊断，进而判断出当前系统运行状态是正常还是存在故障，以及故障的具体类型。

2. 应用优势

在小样本学习方面，相较于其他一些机器学习方法来说，支持向量机在样本数量有限的情况下依然能够构建出性能良好的分类模型^[6]。而在实际电力系统之中，获取大量的故障样本数据往往存在一定困难，但支持向量机的这一特性使其能够充分地利用有限的的数据资源进行有效的学习和诊断。

对于非线性分类问题来说，支持向量机通过引入核函数技巧，可巧妙地将低维空间中的非线性分类问题转化为高维空间中的线性分类问题。现阶段常见的核函数有线性核、多项式核、径向基核（RBF）等。以径向基核函数为例，它能够将原始数据映射到一个更高维的特征空间中，使得原本在低维空间中线性不可分的数据在高维空间中变得线性可分，最终成功实现非线性分类。

（三）深度学习

1. 基本原理

深度学习（Deep Learning）是一类基于神经网络的先进机器学习技术，其显著特点是能够通过构建包含多个隐含层的深度神经网络模型，来实现对海量数据中复杂特征的自动学习与提取。就电力系统故障诊断领域来说，深度学习模型凭借其强大的特征学习能力，为故障诊断带来了新的突破。

常见的深度学习模型在电力系统故障诊断中各有专长。展开来说：卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）在处理图像和结构化数据方面具有独特优势。虽然在电力系统中主要需要处理的是电气量数据，但这些数据在经过一定的变换和组织后，就可以转化为类似图像或结构化的数据形式。而CNN通过卷积层和池化层对数据进行处理，即可在保留主要特征的同时，降低数据的维度且减少计算量，有效地提高了模型的运行效率。

2. 应用优势

深度学习模型在电力系统故障诊断中展现出多方面的突出优

势。首先，其强大的特征自动提取能力是一大亮点。与传统方法需要人工手动提取特征不同，深度学习模型能够直接从海量、高维、复杂的电力系统运行数据中自动学习到最具代表性的故障特征。例如，在处理大量不同类型故障的电气量数据时，深度学习模型能够自动挖掘出数据中隐藏的复杂模式和特征组合，无需人工预先设定繁琐的特征提取规则^[7]。

其次，深度学习模型在故障诊断的准确性和适应性方面表现卓越。由于能够学习到更全面、更深入的故障特征，它在诊断各种复杂故障时具有更高的准确性。同时，深度学习模型对电力系统复杂多变的运行环境具有较强的适应性，无论是不同地区电网结构的差异，还是不同季节、不同时段负荷变化等因素，都能通过自身的学习和调整来适应，从而准确诊断出故障。此外，深度学习模型还能够发现传统方法难以捕捉的细微故障特征，在早期故障预警和诊断方面发挥重要作用，提前发现潜在的故障隐患，为电力系统的预防性维护提供有力支持，进一步保障电力系统的安全稳定运行。

(四) 模糊理论

1. 基本原理

模糊理论 (Fuzzy Theory) 是专门用于处理模糊性和不确定性问题的数学方法，其在电力系统故障诊断领域具有重要的应用价值。因为电力系统运行过程中，故障特征量往往并非具有明确的数值界限和确定性，而是会呈现出模糊性和不确定性。例如当电力系统发生故障时，电气量的变化程度很难用一个精确的数值来界定，其可能处于正常与异常之间的模糊过渡状态。

模糊理论由于引入了模糊集合和隶属度函数的概念，因此能够将这些模糊信息进行量化处理。以电气量的变化程度为例，即可用模糊语言变量来描述，如“很大”“较大”“正常”“较小”“很小”等。并且对于每个模糊语言变量可定义其相应的隶属度函数，该函数用于衡量某个具体的电气量数值属于该模糊集合的程度，取值范围在0到1之间。如对于“电压很大”这个模糊集合，当实际测量的电压值为 V 时，可通过隶属度函数计算得到其属于“电压很大”这个模糊集合的隶属度为 $\mu(V)$ ，而 $\mu(V)$ 越接近1就

表示该电压值越符合“电压很大”的描述。

对于故障诊断的实际过程而言，先将采集到的电力系统电气量数据根据隶属度函数转化为相应的模糊语言变量，然后就能够依据预先建立的模糊规则库进行推理。其中模糊规则库是基于专家经验和大量实际运行数据建立起来的，包含了各种故障情况下电气量模糊信息与故障类型之间的对应关系。最终将得出故障的诊断结果，以此判断出故障的可能性和类型^[8]。

2. 应用优势

模糊理论能够有效地处理故障诊断中的不确定性和模糊性信息，从而避免了传统方法在面对模糊情况时的局限性，其在电力系统故障诊断中的应用优势十分明显。同时在实际电力系统中，由于测量误差、干扰等因素的存在，会使故障特征量往往具有不确定性，而模糊理论能够很好地包容这些不确定性，且将其纳入到诊断过程中，从而提高诊断结果的合理性和可靠性^[9]。

此外模糊理论不需要建立精确的数学模型。因为电力系统是一个庞大而复杂的系统，所以建立精确的数学模型难度极大，且模型参数难以准确获取和调整。而由于模糊理论仅基于模糊规则和专家经验进行故障诊断，且对复杂系统的适应性较强，因此其能够在不依赖精确数学模型的情况下，快速准确地判断出故障情况^[10]。

四、结论

基于人工智能的电力系统故障诊断方法为相关行业提高电力系统运行的可靠性和稳定性提供了有效的途径。本文通过对人工智能神经网络、支持向量机、深度学习、模糊理论等人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究，表明了这些技术在处理复杂故障模式、提高诊断效率和准确性方面均具有显著的优势。但是其在实际应用中仍面临数据质量、模型可解释性、模型适应性等挑战。未来随着人工智能技术的不断发展和与其他领域技术的融合创新，相信基于人工智能的电力系统故障诊断方法将会被不断地完善，最终将为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 宋春雯. 基于多电源并列运行的输电网故障诊断的改进方法研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(04): 37-38+42.
- [2] 颜肃, 张玮亚, 李宏仲, 等. 基于人工智能的输电线路故障快速诊断方法研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(19): 94-99. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181527.
- [3] 宁剑, 任怡睿, 林济枢, 等. 基于人工智能及信息融合的电力系统故障诊断方法 [J]. 电网技术, 2021, 45(08): 2925-2933. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2020.0948.
- [4] 张博, 刘绚, 于宗超, 等. 基于人工智能的电力系统网络攻击检测研究综述 [J]. 高电压技术, 2022, 48(11): 4413-4426. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20220300.
- [5] 韩富佳, 王晓辉, 乔骥, 等. 基于人工智能技术的新型电力系统负荷预测研究综述 [J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(22): 8569-8591. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.221560.
- [6] 金萍, 侯娟. 面向新型电力系统的粗糙集和双流网络自动化物联设备故障诊断方法研究 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(09): 166-171. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2024.09.022.
- [7] 周圣杰, 王士铭, 田洪滨, 等. 基于人工智能与物联网的电力现场作业智能保障系统研究 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(09): 137-144. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2024.09.018.
- [8] 邹昊东, 王会羽, 孙琦, 等. 基于模糊神经网络的智能电气系统故障诊断方法研究 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2020, 51(04): 708-711. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2324.2020.04.026.
- [9] 李根, 刘珊珊. 基于大数据和人工智能的储能系统故障预测与诊断方法研究 [J]. 储能科学与技术, 2024, 13(10): 3653-3655. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0902.
- [10] 王小东. 基于人工智能和数据挖掘的电力系统故障分类预测 [D]. 天津理工大学, 2021.