

矿山电气设备的 故障诊断

李春华 郭殿林 任思璟[◎]著

 哈尔滨工程大学出版社

矿山电气设备的故障诊断

李春华 郭殿林 任思璟 著

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

针对影响煤矿安全运行的诸多因素,煤矿电气设备的安全运行对保障煤炭事业发展至关重要,本书比较系统地介绍了矿山电气设备故障诊断的意义、发现和现状,给出了BP神经网络结构的建立,基于BP神经网络的模拟电路故障诊断的特定举例分析,粗糙集在矿井通风机故障诊断中的方法,支持向量机在矿井通风机故障诊断中的方法,根据矿井通风机的故障数据,采用径向基核函数和“一对多”的多分类算法构建了矿井通风机的多故障分类器,并用该分类器对故障样本进行了测试和仿真分析对比。

图书在版编目(CIP)数据

矿山电气设备的故障诊断/李春华,郭殿林,任思璟著. --哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2014
ISBN 978-7-5661-0916-3

I. ①矿… II. ①李… ②郭… ③任… III. ①矿用电
气设备-故障诊断 IV. ①TD607

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第219593号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街124号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787 mm × 960 mm 1/16
印 张 7.75
字 数 173千字
版 次 2015年1月第1版
印 次 2015年1月第1次印刷
定 价 48.00元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

随着现代科学技术水平的日益提高,尤其是计算机科学和控制科学的飞速发展,系统的规模和复杂程度迅速增加,设备的安全性和可靠性问题越来越突出。煤矿电气设备对于保障煤矿安全生产至关重要,当煤矿电气设备发生故障时,它的故障信号中会表现出一定的特征,通过对这些信号的分析就可以诊断出煤矿电气设备发生了哪种故障。

由于工业系统日益复杂,基于解析模型的故障诊断方法、基于信号处理的故障诊断方法和基于人工智能的故障诊断方法在实际应用中受到了很大的限制,如怎样确定神经网络结构的问题、过学习与欠学习的问题、局部极小点问题等,但这些问题在应用支持向量机中都可以得到解决。支持向量机的应用研究主要集中在文本自动识别、趋势预报、生物信息辨识、函数回归估计、医学信息分类、模式识别、图像分类和金融预测等领域,并在处理具有复杂特性的对象方面具有较大的优势。目前,许多学者还在不断地探索支持向量机在工业机械设备故障诊断方面的应用研究。本书围绕BP神经网络、粗糙集、支持向量机的理论对矿井通风机进行了故障诊断的研究和仿真分析。

本人在学术领域和工业应用领域从事通风机控制和故障诊断已经超过了30年,一直以积极进取的精神跟随着这门技术的发展,已经出版了关于通风机智能控制、模糊控制的专著,此书也可以视为对前两本书的应用扩展,在书中融入了关于矿山电气设备故障诊断方面和相关数字化测试方面的大量知识,即常用故障诊断方法、通风机常见故障机理、通风机故障特征提取、通风机故障诊断技术、煤矿井下主水仓涌水量的预测与监控、钢丝绳的损伤检测与分析、小波分析在钢丝绳损伤信号中的应用、BP神经网络钢丝绳断丝识别、BP神经网络技术的理论及模拟电路应用分析、粗糙集理论及故障诊断方法、支持向量机的理论及故障诊断的方法、多种诊断算法的对比仿真分析。

本书内容概括如下。第1章为概述,讲述了故障诊断的意义、国内外的发

展现状以及诊断对于矿山电气设备的意义。第2章对常用故障诊断方法进行了介绍,详细讨论了基于专家系统、基于人工神经网络、基于优化技术、基于粗糙集理论、基于模糊理论、基于贝叶斯网络等的故障诊断。第3章重点讨论了煤矿井下主水仓涌水量的预测与监控,运用小波神经网络建立了时间序列水位预测模型,并对预测模型算法进行了仿真分析和煤矿井下主水仓监控系统硬件设计。第4章重点讨论了提升机钢丝绳的损伤检测与分析,围绕钢丝绳损伤检测原理,提出了相应的损伤识别与分析,并给出了钢丝绳损伤信号处理的方法,利用小波分析和BP神经网络对钢丝绳断丝进行了识别分析。第5章讨论了BP神经网络算法的原理和应用方法,通过一个实际模拟电路举例说明了基于BP神经网络算法的故障诊断过程。第6章讨论了粗糙集理论,并利用粗糙集理论提出了通风机的故障诊断方法;基于统计学习理论的支持向量机方法构成了最优的分类器,实现了通风机故障诊断,根据矿井通风机的故障数据,采用径向基核函数和“一对多”的多分类算法构建了矿井通风机的多故障分类器,并用该分类器对故障样本进行了测试和仿真分析对比。

本书能够顺利完成,主要得到了两位教师和研究生的帮助。首先,我要对我的两位助手郭殿林和任思璟老师在本书编写中所做的大量研究与修改工作表示感谢。其次,要感谢我的研究生,他们对书稿的录入和制图提供了很大的帮助。最后,感谢那些杰出的科学家和工程师们。

由于时间仓促,书中不妥之处在所难免,希望广大读者批评指正。

李春华

2014年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的背景和意义	1
1.2 故障诊断的国内外现状	2
第 2 章 基本故障诊断介绍	4
2.1 常用故障诊断方法	5
2.2 模拟电路故障诊断的方法及应用	9
第 3 章 煤矿井下主水仓涌水量的预测与监控	13
3.1 井下涌水量预测与监控的发展	13
3.2 煤矿井下主水仓时间序列短时水位预测	14
3.3 煤矿井下主水仓监控系统硬件设计	28
第 4 章 钢丝绳的损伤诊断与分析	38
4.1 钢丝绳损伤检测技术的发展	39
4.2 钢丝绳损伤检测原理	41
4.3 钢丝绳损伤信号处理	45
4.4 小波分析在钢丝绳损伤信号中的应用	48
4.5 钢丝绳损伤信号特征量提取	56
4.6 神经网络钢丝绳断丝识别	58
第 5 章 BP 神经网络结构的构建	63
5.1 BP 神经网络结构的确立	63
5.2 基于 BP 神经网络的电路故障诊断	70
第 6 章 矿井通风机故障诊断	84
6.1 粗糙集在矿井通风机故障诊断中的应用	84
6.2 支持向量机在矿井通风机故障诊断中的应用	92
6.3 矿井通风机故障诊断系统的仿真	98
参考文献	110

第1章 绪 论

随着现代科学技术水平的日益提高,尤其是计算机科学和控制科学飞速发展,矿山电气设备系统的规模和复杂程度迅速增加,设备的安全性和可靠性问题越来越突出。安全保障已经逐渐成为系统运行的一个重要组成部分,系统中出现的某些微小故障若不能及时检测并排除,就有可能造成整个系统的失灵、瘫痪,甚至导致巨大的灾难性后果。因此,人们总是期望建立一套监测、预警、容错和维修机制,让其伴随系统运行的全寿命周期,防止和杜绝影响系统正常运行的故障发生和发展。国内外大量文献资料表明,在实际需求的牵引下,故障诊断技术的应用领域越来越广泛,已经从传统的机械系统和电子系统,渗透到机电一体化系统、工业自动化系统、计算机系统以及各种广泛意义上的动态系统,包括目标识别系统、组合导航系统等。物理学、数学等基础科学的不断进步,以及控制理论、信息科学等应用科学的不断发展,为故障诊断技术提供了多种手段,成为故障诊断技术发展的推动力量。因此,故障诊断技术越来越呈现出更宽泛、更深入和更有效的发展态势。

1.1 研究的背景和意义

随着集成电路的快速发展,为了提高产品性能、降低芯片面积和费用,需将数字和模拟元件集成在同一块芯片上。据资料报道,虽然模拟部分仅占芯片面积的5%,但其故障诊断成本却占总诊断成本的95%。模拟电路故障诊断一直是集成电路工业中的一个“颈”问题,开展相关的理论和方法研究尤为重要。

模拟电路广泛应用于军工、通信、自动控制、测量仪表、家用电器等各个方面。随着大规模模拟集成电路的发展,模拟电路的复杂度和密集度不断增长,对模拟电路运行可靠性的要求更为严格。就模拟电路生产而言,也要求能诊断出故障以便分析原因、改进工艺以提高成品合格率。对某些用于重要设备的模拟电路,还要求其能进行故障预测,也就是对模拟电路故障发生前将那些将要失效的元件替换掉,以避免故障发生。模拟电路故障诊断方法的研究是一个非常意义的研究课题。模拟电路故障诊断技术自20世纪60年代开始研究以来,取得了不少的成就,一直是研究的热门课题。随着现代科学技术的发展,现代电子设备的结构越来越复杂,规模也越来越庞大,为了提高系统的安全性和可靠性,故障诊断技术越来越受到人们的重视。电路的故障诊断分为模拟诊断和数字故障诊断。数字技术的广泛应用和高速发展,使得数字电路故障诊断研究取得了空前的发展。与数字电路相比,模拟电路测试和诊断原理与方法研究的进展缓慢,主要是由于以下原因。

(1) 时间和电压的连续特性使得模拟电路比数字电路更易受缺陷的影响。区分故障

情况和无故障情况需要多种测试方法。

(2) 模拟电路中的元件参数具有很大的离散性,即具有容差性,这是实施正确诊断的最大困难。

(3) 模拟电路中广泛存在非线性问题和反馈回路,增加了故障诊断难度。

(4) 模拟电路中输入和输出间的关系复杂并且难于模型化。在数字电路测试中得到成功应用的故障模型并不适用于模拟电路。模拟电路测试至今尚缺乏有效与通用的故障模型。

(5) 实际的模拟电路中可测电压的节点数比较少,导致可用于故障诊断的信息量不足,造成故障定位的不确定性和模糊性。

(6) 测试设备和输入激励信号的精度对测试结果的影响至关重要。

(7) 模拟电路对环境变化极其敏感,其输出响应不仅易受由制造工艺偏差所引起的元件参数变化的影响,而且易受噪声和热效应等外界环境因素的影响。

(8) 由于需要采用不同的方法来测试电路的多种性能参数,因此模拟功能测试比较费时,而且测试过程中所需硬件开销较大。

为实现模拟电路测试和诊断的智能化,使我国 IC 设计水平跟上飞速发展的微电子发展步伐,开展模拟电路故障诊断方法的研究是一个非常有意义的研究课题。

1.2 故障诊断的国内外现状

在国内模拟电路测试和故障诊断同样是一个被关注的研究方向。20 世纪 80 年代末以来,国内相继出版了周玉芬(高锡俊)、赵国南(郭玉顺)、唐人亨、杨士元等人的专著。近年来一系列关于应用神经网络的模拟故障诊断的学术论文被发表。

在这些论文中提出利用遗传算法辅助设计和优化 BP 网络,进行模拟电路故障诊断;构造了一种新型神经网络电路故障诊断专家系统,但仅给出了理论框架,离实验还有一定的距离;提出了利用模糊神经网络进行模拟电路故障诊断方法,但隶属度函数的选取仍然是一个难点;分别应用小波变换和小波包变换提取输出电压响应的故障特征,提出基于小波变换和神经网络的模拟电路故障诊断方法;构造出了模糊 BP 网络故障分类器融合被诊断元件的两个物理量(工作温度和工作电压),从而确定故障元件。利用神经网络实验对模拟电路的故障诊断有其自身的困难,进展一直比较缓慢。

目前,有关模拟电路故障诊断原理和方法的学术论文里,根据不同的原理,提出了许多各有特色的故障诊断方法,下面对这些方法从不同的角度加以分类。

(1) 按目的可分为:故障检测法、故障定位法和故障识别法。

(2) 按模拟形式可分为:故障模拟法和元件模拟法。

(3) 按电路性质可分为:线性电路诊断法和非线性电路诊断法、动态电路故障和电阻

电路故障诊断法、有源电路故障诊断法和无源电路故障诊断法等。

(4) 按所用的数学方法可分为:确实法和概率法。

(5) 按激励信号类型可分为:工作信号法和仿真信号法,单测试信号法和多测试信号法,以及单频信号法和多频信号法。

(6) 按所测量的响应可分为:直流法和交流法、暂态法和稳态法、电流法和电压法。

模拟电路故障诊断最基本的方法分为故障分析法和故障字典法。故障分析法通过线性电路的方程组把激励和响应与电路元件参数联系起来,以便计算出元件参数值,如果元件参数值的偏移超出允许的容差范围,则判断该元件发生故障。故障字典法涉及产生使元件故障与电压标志相对应的表格,以便在对故障电路进行测试后,按所测激励和响应从上述表格中查寻出相应的故障元件。这种方法产生的相对应表格就是故障字典。

第2章 基本故障诊断介绍

故障诊断 FD(Fault Diagnosis),始于机械设备的故障诊断,全名是状态监测与故障诊断 CMFD(Condition Monitor and Fault Diagnosis)。故障诊断技术的发展分为以下四个阶段:

(1) 原始的故障诊断阶段。由于设备结构相对简单,因此以个人经验和简单仪器即可完成故障的诊断。

(2) 第二阶段被称为材料寿命分析与估计的诊断阶段,这一阶段产生了可靠性理论,应用可靠性理论对材料进行分析与估计来实现诊断。

(3) 第三阶段是基于传感器与计算机技术的诊断阶段,这一阶段出现了传感器技术、动态测试技术和信号分析技术,从而促进了诊断技术的发展,广泛用于钢铁、船舶及核设备等领域。

(4) 第四阶段是智能化阶段,此阶段是随着人工智能技术发展起来的,如今智能的故障诊断方式已经成为研究的热点。

对系统进行故障诊断是为了掌握系统的工作状态,根据检测到的数据来判断系统的稳定性,用来指导生产操作,提高生产效率,稳定生产运行状态,分析故障产生的原因,尽量避免故障的发生。

顾名思义,系统的故障是指系统处于非正常的运行状态,这就有可能使整个系统的功能发生改变,如系统的输出超过正常范围,此时的系统功能未达到规定水平,称为系统故障。故障通常具有层次性、时间性、相关性、模糊性、未确知性、相对性。

故障诊断的依据是假想被检测的系统可能存在正常和故障两种状态,由这两种状态构成状态空间 S ,观测量的特征取值量形成特定的空间 Y ,如果系统处在某一特定状态 S 时,系统有固定的特征 Y ,即存在映射 $g:S \rightarrow Y$ 。相反,特征也对应相应的状态,即存在映射 $f:Y \rightarrow S$ 。图 2-1 是描述状态空间与特征空间的关系,即为故障诊断描述图。

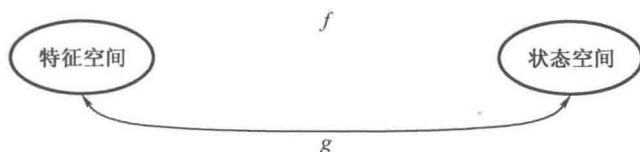


图 2-1 故障诊断描述图

故障诊断的步骤:首先检测设备的特征,接着从检测到的信号中提取相关信息,从而依据故障的征兆信息来确认所检测设备的工作状态,最后实现诊断效果。

2.1 常用故障诊断方法

从传统故障诊断方法得知,单纯用数学模型很难诊断所有故障问题,特别是其中的不确定性因素,而人工智能恰恰可以解决这一问题,提高了故障诊断的精确性。人工智能技术可以模拟人类分析处理问题的智能行为,可以解决数学模型无法解决的问题,近年来人工智能技术用于故障诊断的研究已经取得了巨大成就。目前,国内外故障诊断常用方法主要有以下几种。

2.1.1 基于粗糙集的故障诊断

粗糙集(Rough Sets, RS)理论是一种能有效地分析和处理不精确与不一致等各种不完备信息,刻画其不完整性 and 不确定性的数学工具,它能从中发现隐含的知识,并揭示出信息中潜在的规律。在故障诊断中,粗糙集理论可以显现出它的一些优点。由于故障产生的机理不清楚,故障的表现形式也不一致,在提取故障特征时常常带有盲目性,这就会导致实际描述的设备状态之间有不分明性,而这种状态正是粗糙集所研究的领域。目前,粗糙集在故障诊断中的应用主要有几个方面:利用粗糙集理论及其各种推广模型进行故障诊断特征的提取;利用粗糙集理论简化故障诊断特征,减小故障特征输入量的维数,以降低故障诊断系统的规模和复杂性,从而得出简约的故障诊断模式;与其他理论结合并应用于故障诊断系统,诸如支持向量机,神经网络等。

目前,国际上已经开发出了许多基于RS理论的应用软件,例如Roseta是波兰华沙大学和挪威科技大学联合开发的基于粗糙集的决策分析系统。该软件可以处理多种格式的数据,逐步分析数据,最后得到决策规则。LERS是美国Kansas大学开发的基于粗糙集的实例学习系统,曾用于医学研究、气候预测和环境保护等。Rough DAS和Rough Class是波兰Poznan工业大学开发的基于Rough Set的决策分析系统。

粗糙集理论宗旨是在保持分类能力不变的前提下,通过知识约简的形式,得到问题决策和规则,从而能够有效地处理不完备的数据,通过处理得出其中的隐含知识,进而揭示事物的规律。

把粗糙集的相关理论引入故障诊断中时,用隶属函数来描述不确定性问题,关键在于知识的约简,并且粗糙集理论无需先验知识,其知识表示采用决策表,可以处理信息不完整和冗余问题。如果关键的信号丢失或出现错误就会对诊断结果产生较大影响,尤其是发生多重故障时,由于决策表太大可能会发生“组合爆炸”,并且存在约简困难、诊断速度慢、精度低等缺点。

因此,为了提高故障诊断的准确度和速度,对粗糙集理论深入研究。

(1) 针对多重故障导致的“组合爆炸”,考虑通过与其他故障诊断方法结合使用来解决

这一问题。

(2) 针对系统较复杂、决策表规模大、约简困难等问题导致的诊断速度精度低的问题,考虑通过将系统分区解决。

(3) 将知识库进行分类识别来提高故障诊断的准确性,最好实现多知识库信息融合。

2.1.2 基于支持向量机的故障诊断

Vapnik 博士是统计学习理论的创立者之一,从 20 世纪 60 年代起,他就开始研究小样本情况下的机器学习问题。1995 年,在统计学习理论的基础上,他提出了一种新型的机器学习方法——支持向量机(Support Vector Machine, SVM)。这是一种专门研究小样本数据的机器学习方法。它与传统统计学的不同之处在于, SVM 算法不是以经验风险最小化原则为基础的,而是建立在结构风险最小化原则基础之上的,它是一种新型的结构化学习方法。支持向量机能很好地解决数据量少的小样本高维模型的构造问题,具有很好的分类和预测能力。

随着工业系统的日益复杂化,基于解析模型的故障诊断方法、基于信号处理的故障诊断方法和基于人工智能的故障诊断方法在实际使用中受到了很大的限制,支持向量机在处理具有复杂特性的对象方面具有较大的优势,因此近年来受到研究人员的重视,并取得了相当的研究成果。在应用神经网络进行机器学习的研究中会遇到一些问题,比如怎样确定神经网络结构的问题,过学习与欠学习的问题,局部极小点问题等。这些问题应用支持向量机都可以得到解决,所以支持向量机得以迅速发展和完善起来。随着支持向量机理论在实际中的广泛应用,在多个领域中取得了巨大的研究成果。支持向量机的应用研究主要集中在文本自动识别、趋势预报、生物信息辨识、函数回归估计、医学信息分类、模式识别、图像分类和金融预测等领域。在工业领域中,支持向量机受到了国内外的许多专家和学者的普遍重视。目前,许多学者还在不断地探索支持向量机在工业机械设备故障诊断方面的应用研究。

2.1.3 基于专家系统的故障诊断

就目前来说,专家系统 ES(Expert System)是发展时间较早、发展较为成熟、最有成效的人工智能技术,其奠基人是费根鲍姆。费根鲍姆认为,专家系统是一种计算机程序,用知识和推理步骤来解决复杂的问题。专家系统的主要目的是在非专业领域使用某一学科领域的专业知识来解决复杂的问题。

专家系统是在 20 世纪 70 年代初推出的故障诊断系统,主要用于以生产规则为基础的系统,形成系统故障诊断知识,执行诊断专长的规则专家系统框架、信息信号、获取诊断结果和推理的知识基础。按照人类的语言习惯以规则为基础的生产故障诊断专家系统,可广泛用于故障诊断。专家系统允许增加、删除或改变一些规则,以便实时诊断系统的性能。

虽然故障诊断专家系统的过程可以有效地模拟专家来完成,但仍有实际应用中的缺点,它是获取知识的瓶颈,知识难以维持,能不能有效地解决不确定性的问题,这影响了系统的准确性。

经过几十年的探索研究,基于专家系统的系统故障诊断已经从知识获取和知识表示方面提高了故障诊断的推理效率。但是,仍存在某些缺陷未解决:对知识的获取存在困难,因为通过人工移植的手段获取知识得不到完备的知识库,所以在系统中采用网络分割的办法,通过对知识库的少量改进来解决专家系统维护工作量大、维护难的问题,可以在一定程度上降低专家系统维护的难度;易出现误诊,容错能力较差,一般情况下,与模糊理论结合使用,可以改善其容错能力。

2.1.4 基于人工神经网络的故障诊断

人工神经网络 ANN(Artificial Neural Network)是用来模拟人类大脑的组织结构和人类对事物认知过程的信息处理系统,它具有分布式并行处理、自适应、联想记忆等优势,得到了越来越多的重视,成为了故障诊断研究的新方法。

基于人工神经网络的故障诊断较专家系统容错能力和学习能力强且鲁棒性好,可以避免专家系统诊断时面临的知识库构造问题,且不需采用推理机,但难以获取完备样本。

目前,针对这些问题,可以将遗传优化算法和群智能算法与人工神经网络结合起来改善人工神经网络的收敛性和易陷入局部最小问题。另外,在量子神经计算基础上,N. B. Karayiannis 等人提出的基于多层激励函数的量子神经网络模型和 Tammy 等人提出的多宇宙量子神经网络模型在用于故障诊断中,均取得很好的效果,但仍有待改进。

改善人工神经网络的结构和算法,可以在一定程度上提高故障诊断的有效性。此外,专家系统和人工神经网络可以协调许多互补的工作方式。因此,如何通过人工神经网络与故障诊断系统中的系统集成专家学习,以弥补其缺陷,并提供新的诊断技术和方法,成为了一个新的研究热点。

2.1.5 基于优化技术的故障诊断

采用优化算法 OM(Optimization Method)进行的故障诊断,设定假想事故适应度函数,并根据适应度值更新假想事故集,最终选择最大适应度假想事故集作为最终诊断结果。

使用较为广泛的优化算法有模拟退火算法、遗传算法、模拟分子进化算法、Tabu 搜索算法、贪婪算法等。如果在故障诊断中引入遗传算法,则需要建立报警机制和估计故障点模型,故障诊断问题可以转化为 0-1 规划问题解决。通常改进遗传算法或将遗传算法与其他优化算法结合使用来求解可以更快获得最优解,从而提高诊断速度。

基于优化技术的故障诊断之所以能够实现,是因为基于保护配置的原则和保护断路器间的逻辑关系生成期望状态,形成目标函数。但是,在形成目标函数过程中,很难考虑多级

后备保护且寻优过程中存在的一些随机因素。

2.1.6 基于模糊理论的故障诊断

模糊理论 FT(Fuzzy Theory),以控制领域、计算机领域以及 OR(Operations Research)领域为中心,把控制方面的相关知识融入到模糊集合的 if-then 规则中,利用分析推理得出处理结果。

模糊理论具有以下优点:第一,模糊理论能够解决不确定性的问题;第二,模糊理论中使用的表达方式更贴近人的习惯;第三,模糊理论可以得到不同的解决问题的方案,并且解决方案不唯一,可以根据其模糊度优先进行选择。

在实际系统运行中,其故障和症状之间的关系通常都是模糊的,存在不确定性,所以故障诊断所描述的概念之间的关系是模糊的。通常情况下,利用专家系统来解决这些诊断模糊问题很容易导致错误的结果。但是如果将模糊理论同专家系统结合使用,就能够把精确推理转换成近似推理,这样就能提高专家系统的容错能力。相似地,如果把模糊理论与人工神经网络、遗传算法、Petri 网等人工智能方法结合起来,就可以解决问题的不确定性,提高故障诊断的效率。

在一般情况下,如果从结构上来讲,基于模糊理论的故障诊断系统和基于专家系统的故障诊断系统是相似的,类似的故障情况如下:

- (1) 系统的情况复杂,出现缓慢的诊断。
- (2) 传输网络结构发生变化时,应相应修改系统库或规则的模糊性知识,有维修问题。
- (3) 系统没有自学习的能力。

综上,因为利用模糊理论,语言的规则获取以及修改等存在缺陷,所以其理论的应用范围是有限的。

2.1.7 基于贝叶斯网络的故障诊断

贝叶斯网络 BN(Bayesian Networks)是一种以图论和严格概率理论为基础的不确定性知识表达推理模型,通过因果知识以及先验概率理论来处理相关条件下不同知识间的不确定性,使用贝叶斯理论计算后验概率,依据计算出的各个元件的故障概率确定故障的位置,实现故障的分析处理。

基于贝叶斯网络的故障诊断针对诊断中的信息不完备及不确定性问题建立贝叶斯网络模型,但所需信息为先验概率,计算结果为故障概率,计算上很难实现,因此,有待继续研究。

通过以上系统故障诊断方法可以看出,现在仍存在的问题有:信息不完整情况下无完善的解决方案;单独使用一种方法均存在弊端,最后是结合几种方法一起使用;系统结构越庞大,越需要采用动态诊断的方法。

2.2 模拟电路故障诊断的方法及应用

2.2.1 模拟电路故障诊断常用方法

1. 常规神经网络方法

神经网络具有分类、辨识和推理能力,适用于模拟电路故障诊断。E. F. Cabral 通过应用多层感知机分析电路直流(DC)响应特征,检测和辨识故障元件。M. A. El-Gamal 将用规则集合表述的训练集映射为基于规则连接的神经网络,提出基于知识的诊断方法,但模拟电路领域知识获取和规则提取是难点。A. Fanni 讨论了三种故障特征提取技术(傅里叶变换、小波变换和主元分析)对基于神经网络诊断方法的影响。A. I. Nissar 提出了一种模拟电路软故障诊断方法:将片上白噪声发生器作为激励源,应用神经网络进行响应分析,取得了一定的诊断效果。

M. Catelani 应用径向基函数神经网络分别对元件级和子系统级软故障进行故障诊断。M. A. El-Gamal 组合矢量学习机神经网络和聚类算法诊断模拟电路多个硬件故障。其他神经网络的故障诊断应用还包括贝叶斯神经网络、时延神经网络和概率神经网络。

2. 小波变换预处理方法

M. Amimian 分别从仿真和实际电路角度,对模拟电路的脉冲响应信号进行小波变换,并继续对小波系数进行主元分析和归一化处理,提取5个故障特征作为神经网络的输入,实现了模拟电路的故障诊断。S. Conto 利用小波分析对所获得的电压信息进行压缩,将对应每一故障模式的原始故障信息的300个采样点压缩为51个点作为故障特征,简化了神经网络结构,但还未见该方法应用在电源电流测试中并实现基于神经网络的电路故障诊断。

3. 电源电流测试法

S. Yu 分别用正弦和斜坡信号诊断SMOS运算放大器的门极氧化短路故障,从电源电流提取故障特征作为BP网络输入,故障诊断正确率达83%(正弦信号)和67%(斜坡信号);若应用正弦信号出现故障误诊断,则继续用斜坡信号诊断,正确率达100%,但该方法存在耗时和诊断故障单一的缺点。M. R. Ashouri 在S. Yu研究的基础上考虑元件容差影响,提取电源电流波形曲线的有效点,应用Khonone神经网络实现了模拟电路的故障诊断。V. Stopjakova 采用脉冲激励,提取电源电流特征,输入BP神经网络实现模拟电路的硬件故障诊断。

4. 模糊技术应用

D. Grzechca 选用梯形模糊成员函数,对模拟电路阶跃响应测试数据进行模糊预处理后,输入多层感知机实现故障分类。A. Torralba 采用模糊神经元-高斯函数作为神经网络隐层激励函数,通过BP算法进行网络学习和参数调节,实现对两个CMOS模拟运算放大器的故障诊断。M. Catelani 比较了模糊方法和径向基函数神经网络的故障诊断效果,得出“基

于‘if-then’规则的模糊系统分类效果更好”的结论。这种方法主要存在两个不足:一是模糊成员函数选取没有具体指导原则;二是模糊规则提取不易实现。

5. 大规模模拟电路故障诊断

目前,大规模模拟集成电路的故障诊断方法包括撕裂法、层级法和符号法,而利用神经网络开展的工作却十分有限。仅 Somayajula 利用层级法分析电路,提取每一层 AC 响应电压波形有效点作为 Kohonen 神经网络输入,实现了对滤波器电路的故障诊断。但不足之处也很明显:分层时,要求每一层都有测试点;电路规模复杂时,导致 Kohonen 神经网络结构复杂。

2.2.2 神经网络在模拟电路故障诊断中的应用

模拟电路故障诊断之所以难于取得突破性的进展,是由于其输入输出的都是连续量,难以作简单的量化,故障模型复杂,元件的参数具有很大的离散性,以及广泛存在的非线性和反馈电路等原因,使得其难以像数字电路一样提出系统而有效的方法。由于非线性系统的多样性和复杂性,为非线性系统的故障诊断提出了新的课题。除了借鉴已有的线性系统故障诊断技术以外,随着对非线性理论、先进算法、信号处理及智能控制等技术的研究,非线性系统的故障诊断技术有了很大的发展。目前,非线性系统的故障诊断方法主要包括基于数学模型方法、基于信号处理方法和基于知识的方法。在基于知识的方法中,由于神经网络具有处理非线性和自学习及并行计算能力,其在非线性系统的故障诊断方面具有很大优势。

自 20 世纪 60 年代后,提出了很多方法,如 K 故障诊断方法、故障参数辨别法、网络撕裂法等,但是可付诸实践的却很少。在众多方法中,故障字典法因适应于非线性电路及诊断条件没有严格限制,且简单有效、实用性强,因而这种方法在工程上应用较多。但是,它不能用于软故障诊断,且由于多故障的组合数太大,在实际中只能用于解决单个硬故障问题,因而其应用受到限制。

1. 人工神经网络的特点

应用人工神经网络来处理模拟电路故障诊断之所以能够在实际应用中表现出与众不同的功能,是因为它代表了一种新的方法体系。总的来说,它具有以下四个基本特点。

(1) 学习能力

学习能力是神经网络具有智能的重要表现,即通过训练可抽象出训练样本的主要特征,表现出强大的自适应能力。而在电路故障诊断中存在着电路状态下的大量电压或者电流数据,需要神经网络学习这些训练样本。

(2) 分布式和鲁棒性

在传统的串行运行体系计算机中,信息分布在独立的存储单元中,任何部分内存的损坏都将导致整个信息的无效。而在神经网络中,信息则分散分布在神经元的连接权上,单

个的连接权值和神经元都没多大的用途,但它们组合起来,就能从宏观上反映出一定的信息特征。

个别神经元和连接权值的损坏,并不会对信息特征造成太大的影响,表现了神经网络强大的鲁棒性(受干扰时自动稳定的特性)和容错能力。在输入信号受到一定干扰时,输出也不会有较大的畸变。神经网络的信息分布特性,还使经过训练的神经网络具有强大的联想能力。

由于在实际的模拟电路中存在着电阻、电感和电容的误差,而这种误差范围内的值是随即变化的,如果只是通过一般的故障字典去判断实际电路中的故障情况是满足不了的,所以要求在容差范围内同样能够监测出实际故障,神经网络具有分布式和鲁棒性的特征,从而保证了即使有偏离较大的特征值,神经网络也能辨识出来。

(3) 并行性

神经网络是对人脑结构和功能的模拟,但更偏重对结构的模拟。输入信息在人工神经网络模型中是以一种并行的方式进行处理。在这种方式下,网络中的各个神经元各自独立地从与其输入端相连接的其他神经元采集输入,并计算其输出,再将其传递给下一层(或其他)的神经元,信息作为它们的一个输入,或作为整个模型的输出。这种并行计算的处理,使得它有可能用于实时快速处理信息,成为下一代智能计算机的基础,保证了在故障诊断中监测的速度,提高了辨识效率。

(4) 非线性

非线性科学是当代发展迅速、十分活跃的一个领域。神经网络可有效地实现输入空间到输出空间的非线性映射。寻求输入到输出间的非线性关系模型,是工程界普遍面临的问题。对大部分无模型的非线性系统,神经网络都能很好地模拟。因此,神经网络成为非线性系统研究的重要工具,其具有广阔的应用前景。

从上面几点可以看出,神经网络的优点,也正是传统的基于串行计算机的符号推理难以实现的。用神经网络实现模拟电路故障诊断是可取的。

2. 人工神经网络的一般诊断步骤

(1) 提取故障样本

通过电路仿真软件对给定的模拟电路进行仿真,得出各状态数据。

(2) 特征参数提取

对提出的各状态数据进行特征参数分析。

(3) 网络结构优化

根据输入数据(一般是向量或矩阵)的特点和系统需要的结果显示形式,分别确定输入层和输出层的节点数。

(4) 训练与识别

将已知样本,即经过预处理和特征提取后得到的特征矢量参数(序列)送入网络,进行