

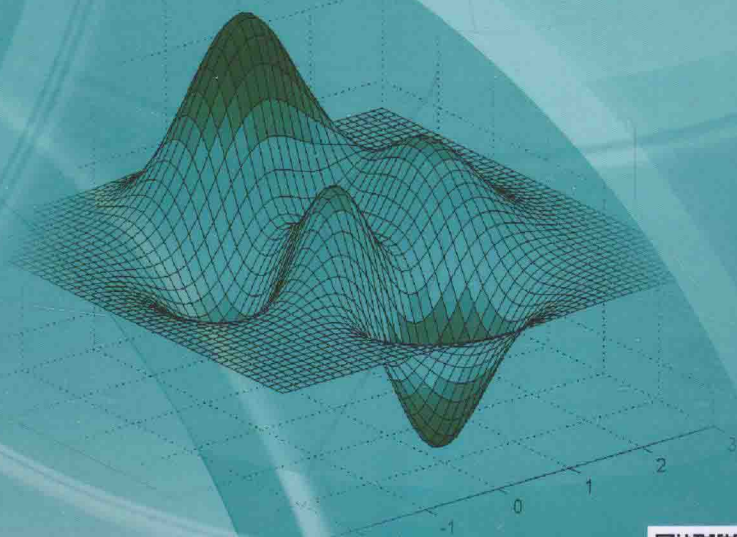


工业和信息化部“十二五”规划教材

智能故障诊断技术 ——MATLAB应用

Zhineng Guzhang Zhenduan Jishu

闻 新 张兴旺 朱亚萍 李 新 著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



下载资源请用
QQ浏览器扫码



工业和信息化部

智能故障诊断技术 ——MATLAB 应用

闻 新 张兴旺 朱亚萍 李 新 著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了智能故障诊断理论、技术及应用,从基于数学模型故障诊断方法延伸到基于神经网络故障诊断方法。全书共9章,主要包括智能故障诊断成果的综述及其未来发展展望,航天器在轨故障分析,系统故障的模型化,故障可检测性,故障的统计检测原理,基于数学模型的故障诊断原理,基于神经网络的故障诊断方法,基于模糊神经网络的故障检测阈值设计和故障诊断方法,基于小波神经网络的故障诊断方法等。此外,本书附有 MATLAB 程序代码,方便读者进行学习和研究扩展。本书各部分内容相互渗透、自成体系,有助于读者掌握智能故障诊断技术的本质。

本书可以作为高等院校控制工程、信息工程及相关专业的本科生和研究生教材,也可作为从事故障诊断理论及工程应用研究的相关技术人员和高校师生学习的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

智能故障诊断技术:MATLAB 应用 / 闻新等著. —

北京:北京航空航天大学出版社,2015.6

ISBN 978-7-5124-1796-0

I. ①智… II. ①闻… III. ①Matlab 软件-应用-智能控制-故障诊断 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 113158 号

版权所有,侵权必究。



智能故障诊断技术——MATLAB 应用

闻 新 张兴旺 朱亚萍 李 新 著

责任编辑 赵延永

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:10 字数:256 千字

2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1796-0 定价:28.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

现代科学与技术飞速发展的一个重要表现形式就是服务于国民经济发展各部门的应用系统日益大型化和复杂化。一方面,这些系统促进生产发展,带来了巨大的经济效益;另一方面应用系统中任何一个部件发生故障都可能带来机毁人亡的灾难。因此,在应用系统日益发展的今天,仅仅采用有效的维修措施不能满足安全要求,智能故障诊断技术已经成为可靠性设计的重要手段。在最近几十年中,故障诊断和容错控制已成为当前国际信息技术领域研究的热点之一,发展速度很快且日渐成熟,各式各样的智能故障诊断方法不断涌现,例如基于数学模型、神经网络、专家系统和模糊推理的故障诊断方法等。作为新兴的综合性边缘科学,故障诊断技术已经初步形成了比较完整的科学体系。

本书是在作者多年研究工作和教学工作基础上总结而成的,并广泛吸收了国内外这一领域的最新成果。本书将理论与实际并重,以大型复杂航天系统为背景,以现代控制理论、统计假设理论和人工智能理论为工具,系统地介绍神经网络故障诊断方法和应用实例。本书不仅对系统归纳神经故障诊断方法有着重要的学术价值,而且对促进复杂系统可靠性设计也有着重要的工程应用价值。

本书编写的另一个目的是结合我国航天工业部门发展的需要,系统地总结归纳和循序渐进地论述智能故障诊断的基础和应用技术,为即将工作的学生掌握先进的故障诊断技术提供学习材料,使他们成为具有很强的安全和故障防范意识的工程技术人才。

近20年里,国内外关于故障诊断的专著已经出版了十几部,本书与其比较,具有如下特色:

1) 现有的著作大部分是理论方面的书籍。本书的最大特点就是结合工程实际讲述理论,实用性强。

2) 本书是在南京航空航天大学“航天器智能故障诊断技术”课程讲义基础上编著而成,所涉及的理论基础简明扼要,通俗易懂,本科生就可阅读和参考。

3) 为方便自学和理解,本书自成体系,层次分明、内容翔实、理论推导和MATLAB可视化仿真技术分析相结合。

4) 本书论述内容范围广泛,包括三部分:解析冗余方法、统计方法和神经网络方法。



5) 本书在论述应用方面侧重两类,一类是嵌入式的故障诊断应用,另一类是分离式的应用。嵌入式的应用,就是指故障诊断技术直接包含在系统设计中,例如对控制系统的设计,在设计时就考虑故障检测、隔离和补偿问题,从而保证故障一旦发生,就把故障消灭在萌芽状态。分离式故障诊断技术,是指故障诊断系统与被诊断对象处于分离状态,也即故障诊断推理系统和被诊断对象各自独立存在,没有任何耦合关系。

鉴于目前结合航天系统的故障诊断方面教材紧缺,各航天高校教师不得不花费时间从散见的刊物和相关专著整理教案,本书的目的是为广大学生和教师提供一部有参考价值的教材。

编著者

2015 年 6 月于南京

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 故障诊断技术的产生与历史	1
1.2 故障诊断技术发展现状与展望	2
1.2.1 故障诊断技术的现状	2
1.2.2 故障诊断技术应用模式	3
1.2.3 故障诊断未来面临的问题	5
1.4 故障诊断的术语定义	6
第 2 章 航天器在轨故障分析	8
2.1 引 言	8
2.2 结构机构分系统故障统计分析	8
2.2.1 可伸展机构故障	9
2.2.2 驱动装置故障	10
2.2.3 天线装置故障	10
2.2.4 装配连接件与其他故障	10
2.3 控制分系统故障统计分析	10
2.3.1 外部原因造成的姿控回路故障	11
2.3.2 内部构造缺陷引起的姿控回路故障	11
2.4 电源分系统故障的统计分析	13
2.4.1 太阳能电池阵列故障	14
2.4.2 蓄电池组故障	15
2.4.3 电源控制器故障	16
2.5 推进分系统故障统计分析	16
2.5.1 泄漏故障	17
2.5.2 喷注器及尾喷管故障	17
2.5.3 其他电子元器件故障	18
2.6 故障防护	18
2.7 小 结	19
第 3 章 动态系统故障诊断的基本原理	20
3.1 系统故障的数学表示	20
3.1.1 传感器故障模型	20
3.1.2 执行器故障模型	21



3.1.3	系统故障模型	21
3.1.4	控制系统故障的数学描述	21
3.2	基于系统模型的故障诊断原理	22
3.3	线性系统的故障诊断原理	23
3.4	故障检测观测器的设计	26
3.5	带干扰系统的故障诊断	34
3.5.1	残差生成与残差响应	34
3.5.2	干扰解耦设计的一般原理	35
3.6	奇偶矢量法	37
第 4 章	基于统计理论的故障检测原理	40
4.1	引 言	40
4.2	二元假设检验	40
4.2.1	最小误差准则	41
4.2.2	贝叶斯准则(最小风险准则)	42
4.2.3	最大后验概率准则	42
4.3	多元假设检验	43
4.4	基于多种测量残差的故障诊断方法	44
4.4.1	问题描述	44
4.4.2	M-ARY 的故障决策方法	44
4.4.3	应用实例	46
第 5 章	基于神经网络的故障诊断方法	47
5.1	引 言	47
5.2	神经网络特性简述	47
5.3	带有偏差单元的递归神经网络	48
5.3.1	BP 网络及算法的不足	48
5.3.2	带有偏差单元的递归神经网络	49
5.3.3	带有偏差单元的递归神经网络的误差反向传播学习规则的数学推导	50
5.3.4	带有偏差单元的递归神经网络诊断模型的建立	54
5.3.5	IRN 网络的故障诊断方法在航天器电源分系统故障诊断中的应用	57
5.4	基于 Hopfield 神经网络的故障诊断	60
5.4.1	Hopfield 神经网络描述	60
5.4.2	双向联想记忆	61
5.4.3	卫星姿态控制器故障诊断	63
第 6 章	基于模糊神经网络的故障诊断	65
6.1	引 言	65
6.2	模糊、神经网络和人工智能技术的关系	65



6.3 神经网络和模糊系统的比较	66
6.4 模糊和神经网络的结合形式	68
6.5 模糊推理的残差估计	69
6.6 模糊神经网络的故障诊断原理	72
6.6.1 模糊神经网络的结构	73
6.6.2 模糊神经网络的训练	74
6.7 基于模糊神经网络的未建模系统的故障诊断	74
6.7.1 模糊神经网络模型	75
6.7.2 模糊神经网络的训练算法	76
6.7.3 基于模糊神经网络的未建模系统的故障检测	76
6.8 基于泛函模糊神经网络的 GPS/INS 组合导航系统的软故障诊断	77
6.8.1 状态 χ^2 检验原理	77
6.8.2 泛函模糊神经网络的结构	82
6.8.3 仿真结果	84
第 7 章 基于径向基网络的故障诊断	91
7.1 模糊-径向基网络的故障诊断	91
7.1.1 径向基函数网络和模糊推理系统的功能等价关系	91
7.1.2 基于自适应模糊系统的径向基高斯函数网络	93
7.1.3 学习算法	95
7.1.4 非线性系统的故障诊断	97
7.2 基于 HBF 神经网络的故障诊断	100
7.2.1 HBF 神经网络	100
7.2.2 HBF 网络的自适应观测器	101
7.2.3 航天器执行机构故障重构	104
7.3 基于 CCA 优化的前馈神经网络故障诊断及应用	106
7.3.1 优化算法	106
7.3.2 网络观测器设计与分析	107
7.3.3 非线性系统故障检测	107
7.3.4 航天器姿态敏感器的故障诊断	109
第 8 章 基于小波神经网络的故障诊断与应用	113
8.1 小波神经网络应用于航天器故障诊断	113
8.1.1 BP 神经网络简介	113
8.1.2 小波变换及小波神经网络	114
8.1.3 小波神经网络在航天器电源故障中的应用	115
8.2 单隐含层模糊递归小波神经网络的观测器设计	116
8.2.1 单隐含层模糊递归小波神经网络	117
8.2.2 使用 GA 对 SLFRWNN 进行初始化	119



8.2.3 SLFRWNN 的训练算法	119
8.3 SLFRWNN 的自适应观测器	120
8.3.1 观测器的建立	120
8.3.2 观测器的稳定性分析	122
8.3.3 系统仿真试验	125
第9章 智能故障诊断技术在姿态测量系统中的应用	128
9.1 引 言	128
9.2 航天器 AD 系统模型	129
9.2.1 航天器动力学模型	129
9.2.2 测量误差模型	129
9.3 组合传感器	130
9.4 FDD 滤波器设计	131
9.5 故障模型及残差计算	133
9.5.1 敏感器故障模型	133
9.5.2 残差生成	133
9.5.3 统计实验	133
9.6 FDD 方案	134
9.6.1 故障检测	135
9.6.2 初级故障隔离	135
9.6.3 故障隔离	135
9.7 AD 系统仿真结果	136
9.7.1 方案实施	136
9.7.2 仿真结果	137
9.8 小 结	146
思考题与习题	148
参考文献	151

第 1 章 绪 论

故障诊断技术作为提高系统安全性和可靠性的重要手段,日益引起人们的重视,并已经成为航天器系统工程研制过程中的重要技术,而且在系统设计/综合过程中要求必须考虑故障诊断和容错技术问题。

1.1 故障诊断技术的产生与历史

1. 故障诊断技术概念的产生

美国自 1961 年开始执行阿波罗计划后,出现很多由于设备故障引起的事故。1967 年在 NASA(美国航空航天局)倡导下,由美国海军研究室主持成立了美国故障预防小组,并积极开展故障诊断的研发。

20 世纪六七十年代,英国机器保健和状态监测协会开始研究故障诊断技术,并在汽车和飞机发电机监测和诊断方面处于领先地位。

日本的新日铁从 1971 年开始研发故障诊断系统,1976 年实用化。日本的故障诊断技术在化工、铁路和钢铁行业领先世界。

我国是从 1979 年初开始研究故障诊断技术,由几所高校的专家带领研究生起步。

2. 故障诊断技术的发展历程

(1) 早期的故障诊断概念

故障诊断始于设备故障诊断,包含两方面内容:

- ① 对设备的运行状态进行监测。
- ② 在发现异常情况对设备的故障进行分析。

(2) 现代故障诊断技术的产生

① 以解析冗余为主导的故障诊断技术是 20 世纪 70 年代初首先在美国发展起来的,麻省理工学院 Beard 的博士论文首先提出了用解析冗余代替硬件冗余,标志着这门技术的诞生。

② 建立在计算机、人工智能基础上的故障诊断技术(智能故障诊断技术)是 20 世纪 80 年代初兴起的。

3. 故障诊断技术发展的推动力

20 世纪末,几个大的事件推动了这一技术的发展:

- 20 世纪 80 年代前苏联的“切尔诺贝利”核电站事故、印度化工厂毒气泄漏;2011 年 3 月,日本大地震引起的“核电站泄露”事件。
- 1986 年,美国的“挑战者”号航天飞机失事、美国的“德尔塔”火箭的星箭俱毁、欧洲的“阿里亚娜”火箭的飞行失败。
- 我国 2000 年左右卫星发射的多次失利。
- 在武器系统中,每一次的误炸、临危失效都将造成巨大的社会效应和人身危害。



1.2 故障诊断技术发展现状与展望

1.2.1 故障诊断技术的现状

在过去的几十年中,故障诊断问题得到了国内外学者的广泛关注。作为新兴的综合性边缘科学,故障诊断技术已经初步形成了比较完整的科学体系,涉及计算机、系统科学、人工智能和信息科学等许多学科。

由于当代前沿科学中的理论和方法必然渗透到故障诊断技术中,如神经网络理论、粒子滤波和控制论等,所以故障诊断技术几乎能够与这些前沿学科同步发展。在最近几年中,各式各样的故障诊断方法已经发展起来了,例如基于神经网络、神经网络自适应观测器、专家系统和支持向量机等等。

故障诊断系统的核心是诊断软件,而软件的核心是算法,算法的核心则是故障诊断方法(故障诊断理论)。因此,故障诊断方法(故障诊断理论)的研究就成为设计与研制故障诊断系统的中心任务。

故障诊断技术主要的理论方法有:

- 基于数学模型的方法,包括一致空间法、观测器法、参数估计法;
- 基于信号处理的方法,包括频谱分析法、小波分析法等;
- 基于人工智能的方法,包括神经网络法、知识推理法、故障特征树搜寻法、模糊隶属度法等。

对故障诊断方法的性能评价有如下指标:

- 检测的及时性(速度);
- 检测敏感性和鲁棒性;
- 误报率、漏报率、错报率和确诊率;
- 诊断全面性(针对所有类型故障)。

图 1.1 系统地概括出了故障诊断的任务和方法。

最近,我国学者从对最新研究成果分析的角度对现有的故障诊断方法进行了重新分类,将其整体上分为定性分析的方法和定量分析的方法两大类,如图 1.2 所示。

如果从故障诊断技术的应用划分,作者认为可分为两类,一类是嵌入式的故障诊断应用,另一类是分离式的应用。所谓嵌入式的应用,就是指故障诊断技术直接包含在系统设计中,例如对控制系统的设计,在设计时就考虑故障检测、隔离和补偿问题,从而保证故障一旦发生,就把故障消灭在萌芽状态。所谓分离式故障诊断技术,是指故障诊断系统与被诊断对象处于分离状态,也即故障诊断推理系统和被诊断对象各自独立存在,没有任何耦合关系,如我国神州飞船地面故障诊断系统、航天器地面综合诊断测试系统,都属于这类应用。从近几年故障诊断技术的应用方面看,分离式的故障诊断技术发展较快;但是,从未来发展看,实时嵌入式故障诊断技术将具有重要的应用前景。加拿大学者近年来结合卫星反作用飞轮的姿态控制系统,基于解析冗余故障诊断方法,对实时嵌入式故障检测估计器的设计进行了探索性的研究工作。

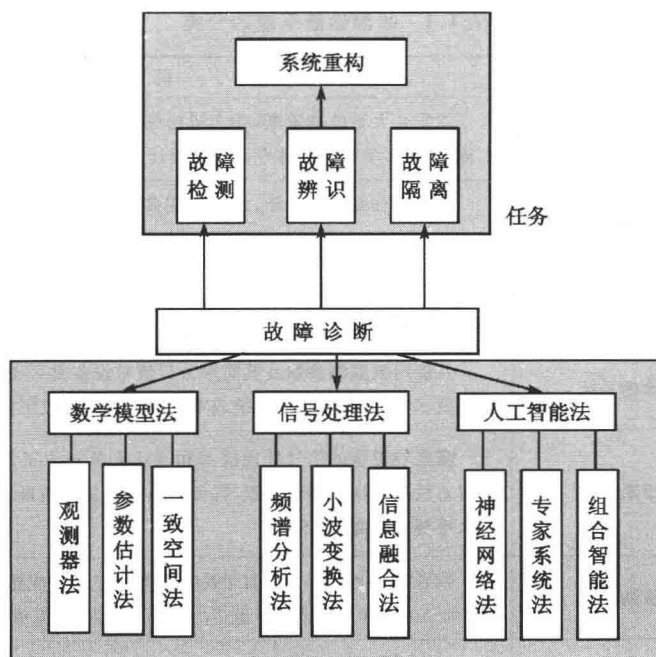


图 1.1 故障诊断的任务和方法

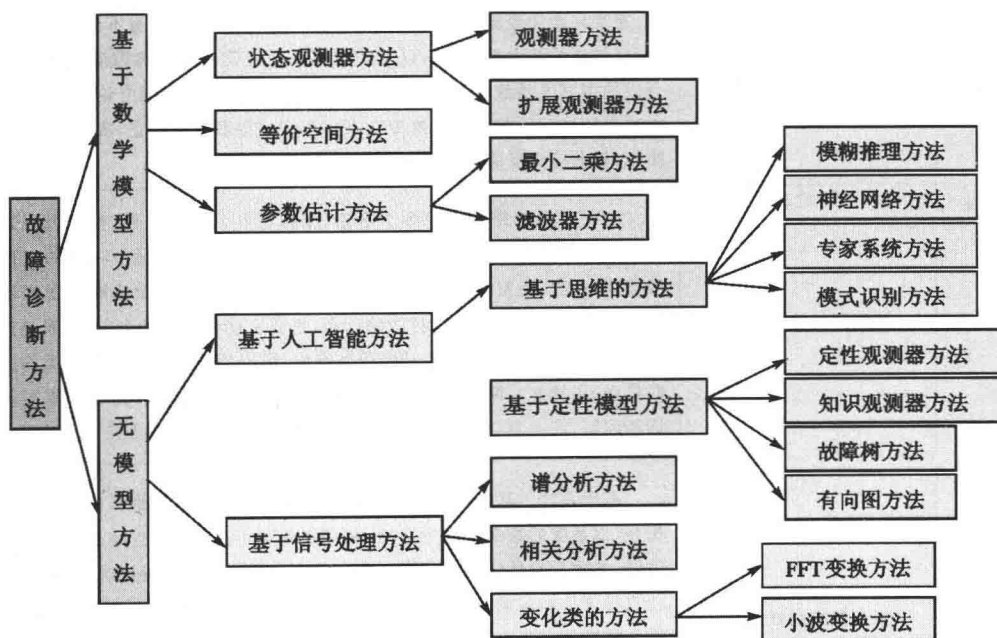


图 1.2 故障诊断方法分类

1.2.2 故障诊断技术应用模式

目前,一般按诊断系统的投资、开发及应用上的不同层次或模式进行分类,见表 1.1。



表 1.1 故障诊断系统的分类

	系 统	说 明
诊断范围	系统级	指复杂大系统的诊断,由多机构成的系统。诊断结论定位在分系统上,技术复杂,需多学科的人群专业人员设计、建立、维护与运行
	分系统级	指关键分系统的诊断,由单机或多机构成的系统。诊断结论定位在设备上,一般需专业人员设计、维护与运行
	设备级	指系统中关键设备的诊断,仅由单机构成的独立系统。一般也需专业人员设计、维护与运行
智能水平	简易诊断系统	直接用被监测参数或其简单分析值对设备是否正常、有无故障作出判断,设备技术状态简单,诊断系统成本低,操作容易,应用极广
	精密诊断系统	需要较复杂的信号处理技术和专业人员对非正常设备进行诊断,诊断系统可对故障类别、性质、位置、程度和趋势等进行判断。诊断系统成本适中,技术水平要求较高,应用较广
	专家诊断系统	依靠智能软件,多为非实时系统,适用于已有较成熟诊断经验的专门系统,需要专业人员与领域专家共同建立,成本低,使用操作简单,目前已广泛应用
	模糊推理诊断系统	模糊诊断是根据模糊集合论征兆空间与故障状态空间的某种映射关系,由征兆来诊断故障。由于模糊集合论尚未成熟,诸如模糊集合论中元素隶属度的确定和两模糊集合之间的映射关系规律的确定都还没有统一的方法可循,通常只能凭经验和大量试验来确定。另外,因系统本身不确定的和模糊的信息(如相关性大且复杂),以及要对每一个征兆和特征参数确定其上下限和合适的隶属度函数,而使其应用有局限性。但随着模糊集合论的完善,相信该方法有较光明的前景。需要专业人员与领域专家共同建立,成本低,使用操作简单,目前已广泛应用
	神经网络诊断系统	由于神经网络具有原则上容错、结构拓扑、鲁棒、联想、推测、记忆、自适应、自学习、并行和处理复杂模式的功能,使其对工程实际中存在的大量的多故障、多过程、突发性故障、庞大复杂机器和系统的监测及诊断中发挥较大作用。应用神经网络理论进行故障诊断,主要表现在下面几个方面:残差产生的神经网络方法、残差评估的神经网络方法、用神经网络进行模式分类的故障诊断推理、用神经网络作自适应误差补偿。适用于已有较完整诊断案例库的诊断问题,需要专业人员建立,开发成本较低,目前国内处于应用研究阶段
	基于系统仿真模型的故障诊断系统	基于系统仿真模型的故障诊断方法是以现代控制理论和现代优化方法为指导,以系统的数学模型为基础,利用观测器(组)、等价空间方程、Kalman 滤波器、参数模型估计和辨识等方法产生残差,然后基于某种准则或阈值对该残差进行评价和决策。基于模型的故障诊断方法能与控制系统紧密结合(基于数学模型的方法在控制领域中发展较迅速),是监控、容错控制、系统修复和重构的前提。目前该领域研究的重点是(线性和非线性)系统的故障诊断的鲁棒性,故障可检测和可分离性,利用非线性理论(突变、分叉、混沌分析方法)进行非线性系统的故障诊断。适用于已有较精确的数学模型的诊断系统,需要专业人员建立,目前国内外处于应用研究阶段



续表 1.1

	系 统	说 明
智能水平	组合型智能诊断系统	专家系统的知识处理模拟的是人的逻辑思维机制,人工神经网络的知识处理所模拟的则是人的经验思维(即模式类比,也叫形象思维)机制;在人类自身的思维过程中,逻辑思维、经验思维、创造性思维是缺一不可并且是非常巧妙地互相结合而形成的有机整体。 在人类日常的智能活动中,最常发生的思维形式是经验思维。这是一种浅层次的思维形式;人们根据以往成功的实践经验,把已经成功处理过的问题划分为几种典型的模式,一旦遇到与这些模式相同或相近的实际问题,就照以往的经验来处理,故障诊断也不例外,因此,这类思维的实质就是模式识别。 当遇到经验思维解决不了的实际问题时,通常就要转向更深一层次的逻辑思维;如果遇到逻辑思维也解决不了的新的复杂问题,又需要转向创造性思维,通过提出新的假设,然后经过检验来发现新的理论和新的解决实际问题的方法。所谓组合型智能诊断系统就是将上述三种思维推理集成在一个诊断系统中。这类系统需要专业人员建立,目前国内外处于应用研究阶段
工作方式	在线系统	适用于重要系统的实时或自动巡检诊断,依靠内装传感器。成本较离线式高,系统可以是单机或多机的,应用较广
	离线系统	依靠数采器,手持式传感器人工巡检方式工作;非实时工作,诊断系统的硬件成本低,推理速度不必很快,便于扩充范围与测点;可以不直接与设备相联系,应用范围广且灵活性大,适用于各种场合
	离-在线系统	兼顾上述两种优点,应用范围广
系统构成	单机系统	由一台计算机构成的诊断推理系统,系统规模较小,数据通道较少,适用于重要设备或子系统的故障诊断,硬件成本不高,操作水平要求适中,应用较广
	多机系统	由多台计算机构成的诊断推理系统;适用于复杂的大系统,用网络或工业总线通讯,硬件成本高,可用于重要的大系统,如飞船、航天飞机等,系统的设计、建立、维护、运行需专业技术人员。其特点是在地域上是分布或分散、分级的,抗单点故障能力强,易扩展,便于集中管理,软件、硬件及信息资源共享

1.2.3 故障诊断未来面临的问题

近些年来,由于计算机技术、信号处理、人工智能、模式识别技术的发展,促进了故障诊断技术的不断发展,特别是智能故障诊断方法得到广泛的研究。目前,故障诊断研究主要集中在以下几个方面:

1) 将一些新的理论引入故障诊断之中,如信息融合故障诊断、基于进化算法的故障诊断、基于 Agent 的故障诊断、基于图论的模型推理方法、基于核方法的故障诊断等。随着新理论不断发展,这方面的工作仍是故障诊断的重要内容之一。

2) 诊断系统集成化,将几种诊断方法融合到一起的集成故障诊断研究,实现多种诊断方法的融合。如将小波变换、模糊数学、神经网络综合到一起的故障诊断方法。由于每种方法都有其优点和不足,这种集成故障诊断方法必然有其独特的优点,也是有待深入研究的内容



之一。

3) 诊断系统综合化,由过去单纯的监测和诊断,向今后集监控、测试、诊断、管理、预测和训练于一体的综合系统化方向发展。

4) 随着人工智能的发展,人们越来越意识到操作人员的常识及人的自然智能的优越性,在故障诊断系统中适当考虑人的作用会降低故障误报率和漏报率。

总之,故障诊断是一门实用性很强的技术,只有在实际应用中才能体现它的价值。目前在理论研究方面虽有不少进展,但真正在工程实践中成功应用的实例还较少。因此,如何将先进的故障诊断理论与方法应用到实际中去还有待深入的研究。

结合故障诊断的理论成果,如下几个研究方向已经或正在成为故障诊断理论渗入实际系统的研究热点或示范工程。

1) 基于混合神经网络结构的故障诊断

- 考虑到大系统的分布式、层次性等特征,运用多种神经网络在推理系统中发挥各自的优势,解决数据不足的问题。将传感器数据到故障的映射分解为三个部映射,解决训练数据不足的问题,并逐一训练神经网络实现这些映射,分别完成数据压缩、假设产生及传感器融合的功能。
- 在研究过程中,要使这种混合神经网络结构不但可以检测到训练样本中已有的故障类型,而且可以检测到训练样本中没有的故障类型。
- 在混合神经网络结构的诊断系统中,设为三层结构,每层分别采用不同的神经网络模型,如:第一层为自适应共振(ART)神经网络结构,第二层为内容可寻址记忆(CAM)网络,第三层为 BP 网络,将故障诊断看作是一种特殊的模式识别问题。
- 在测点数据进行预处理时,运用模糊理论进行处理,即用模糊隶属度对观测点数据进行定性化处理。对混合网络推理的结论也进行模糊化处理,提高诊断系统的可信度。实质上,混合神经网络故障诊断系统是一个将数值计算与符号处理有机的融合。

2) 建立在智能仿真基础上的故障诊断技术

- 运用统计理论和模糊信息处理技术,研究故障检测阈值的选取方法,并在此基础上,给出阈值选取的自适应调节方法,使阈值的选取既可有效地克服干扰噪声,又能有效地检测故障。
- 对不能由一般解析方法求取残差的,可用神经网络动态模型,辅助进行不可模型化系统的残差产生。另外,当系统模型存在建模误差时,利用神经网络进行误差估计,进而产生对诊断有意义的残差信号。
- 为克服传统解析方法的缺点,在进行故障隔离时,运用人工智能理论,引入故障模型的匹配、联想和类比等思维方式,实现求解征兆到故障之间非线性映射。
- 将经典的系统辨识理论和现代的人工智能建模方法(如模糊和神经网络方法)结合,估计系统发生故障的大小和方向矢量。

1.4 故障诊断的术语定义

国际自控联合会(IFAC)故障检测、安全性与监控专业技术委员会,在基于模型故障诊断领域内所定义的公用术语主要如下。



- 故障(fault):系统至少一个特征参数由可接受的/通常的/标准的状态发生不允许的偏移。
- 失灵(malfunction):在完成系统所期望的功能中发生间歇式的不规则性。
- 误差(error):在(输出变量的)测量值或计算值与真实值或理论上的正确值之间的偏差。
- 干扰(disturbance):作用在系统上的未知(与未控)输入。
- 扰动(perturbation):作用在系统上的输入,其导致系统由当前状态暂时性偏离。
- 残差(residual):基于测量值与基于模型方程计算值之间偏差的故障指示(器)。
- 征兆(symptom):从正常行为发生了能观测到的量的变化。
- 故障检测(fault detection):故障种类、位置及检测时间的确定。
- 故障隔离(fault isolation):故障种类、位置及检测时间的确定,在故障检测后进行。
- 故障辨识(fault identification):故障大小及其时变行为的确定,包括故障检测、故障隔离与辨识。
- 监控(monitors):通过纪录信息、识别及指明行为的异常性,确定物理系统状态的一项连续实时任务。
- 监督管理(supervision):监控物理系统并且采取适当方式以维持在故障情况下的运转。
- 定量模型(quantitative model):利用系统变量与参数间的静态与动态关系的定量数学术语来描述系统行为。
- 定性模型(qualitative model):利用系统变量与参数间的静态与动态系统的定性数学术语(如因果性或 if - then)来描述系统行为。
- 诊断模型(diagnostic model):连接具体输入变量-征兆与具体输出变量-故障之间的一组静态与动态关系。
- 解析冗余(analytical redundancy):利用两种或者两种以上(但不必相同)的方式确定变量,其中一种方式采用了解析形式的过程数学模型。
- 可靠性(reliability):在给定的范围内,在给定的时间周期内,在规定的条件下,系统完成所要求的功能的能力。
- 可用性(availability):系统或设备在任何时间可令人满意地、有效地运转的概率。
- 安全性(safety):系统没有引起对人、设备或环境危害的能力。
- 可信性(dependability):可用性的一种形式,在其需要时总是可利用的特性。它 also 指系统在规定的工作期间内任何随机选定的时刻,其可运转与有能力完成所要求的功能的程度。

第2章 航天器在轨故障分析

2.1 引言

航天器发射成功入轨后,能否顺利完成任务主要取决于两方面因素:一是航天器是否正常工作;二是航天器是否运行在预期的轨道上。而这两方面又取决于各分系统的在轨运行情况。在轨航天器一旦发生故障,其损失是不可低估的。所以,对航天器各分系统在轨故障的分析与研究也越来越为航天器总体设计人员所重视。

通过统计分析航天器的在轨故障,可进一步了解故障的发生原因及规律,从而采取一定措施,以减少或避免航天器出现重大损失。本章主要对航天器在轨运行时的结构机构分系统、控制分系统、电源分系统以及推进分系统的故障进行统计和归纳,并具体分析各个分系统中相应部件所发生的故障及其原因,为航天器总体设计提供一定的参考,以减少航天器在轨运行故障,增强航天器的在轨运行可靠性。

本章将对1993—2012年底国外公开的在轨航天器故障进行调研,并对其各个分系统所出现的故障进行具体统计与分析,归纳出了各分系统发生故障的比例,结果如图2.1所示。由图可知,结构机构分系统故障、控制分系统故障、电源分系统故障以及推进器分系统故障占航天器在轨故障的绝大部分。所以,本章主要针对这4个分系统进行故障分析。

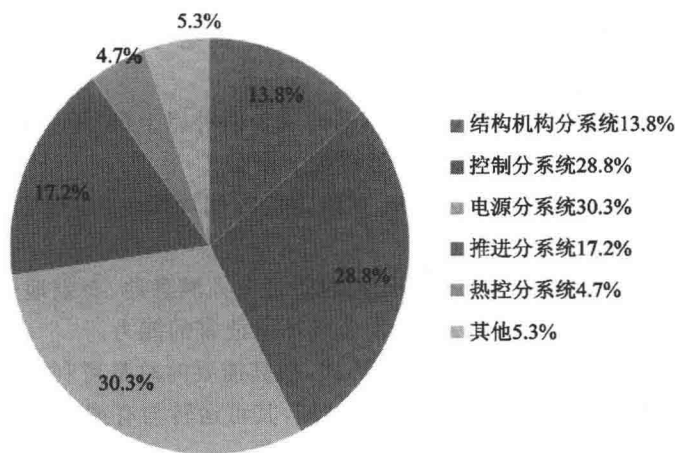


图 2.1 航天器各分系统故障所占比例

2.2 结构机构分系统故障统计分析

在航天器系统工程中,结构机构分系统与任何其他分系统都有关,因此,对航天器总体设计而言,结构机构分系统设计应该放在第一步。结构机构分系统正常与否直接关系到航天器能否安全在轨运行以及能否完成任务。例如,太阳翼的在轨展开、航天器舱段的在轨分离、航