

清华大学测控技术与仪器系列教材

Measurement Intelligent Information Processing

测试智能信息处理

王 雪 编著

Wang Xue

清华大学出版社

清华大学测控技术与仪器系列教材

TP274/124

2008

Measurement Intelligent Information Processing

测试智能信息处理

王雪 编著

Wang Xue

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

智能计算是测试智能信息处理的核心技术,是目前多学科研究和应用的热点,涉及测试技术、电子技术、计算机技术、控制技术等,具有广泛的应用前景。测量技术是信息处理的关键和基础。本书介绍了测试系统的组成、特点以及信号测量处理的过程,给出了数据融合的基本方法,重点介绍了测试智能计算的基础理论和方法。具体内容包括测试系统的组成和信息获取的过程、智能计算的产生和发展、数据融合的基本原理;神经网络计算的基础、神经计算的基本方法、神经计算的实现技术和支持向量机;模糊计算中的模糊逻辑与模糊推理、模糊计算应用和粗糙集;进化计算中的遗传算法、粒群智能、蚁群智能等方法和实例。

本书可作为测控技术、电子科学技术、计算机科学技术、电气工程、控制技术、信息通信技术、机械电子工程等专业的研究生、高年级本科生的教材和参考书,也可供相关工程技术人员和科技工作者作为专业参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

测试智能信息处理/王雪编著. —北京:清华大学出版社,2008.1

(清华大学测控技术与仪器系列教材)

ISBN 978-7-302-16575-0

I. 测… II. 王… III. 人工智能—应用—自动检测系统—高等学校—教材
IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 185357 号

责任编辑:张秋玲

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:35 字 数:720 千字

版 次:2008 年 1 月第 1 版 印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:55.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:028069-01

前言

信息是 21 世纪最重要的商品,在信息处理中,信息的获取、传输、存储、加工处理及其应用所采用的技术、理论方法和系统都需要由计算机来完成。智能信息处理是计算机和控制学科新发展起来的十分活跃和具有挑战性的领域。

信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是信息处理的关键和基础。测试智能信息处理是采用智能计算方法对测试数据进行信息挖掘、分析、处理和信息融合的理论,包括测试信息获取、神经计算、模糊计算、进化计算和数据融合方法。智能计算是测试智能信息处理的核心技术。智能计算作为一门新兴的交叉学科,与人工智能、人工生命科学、自动控制、运筹学、计算机科学、信息论、应用数学、仿生学、非线性科学、脑科学、生物工程、认识心理学等有着密切的关系,是相关学科相互结合与渗透的产物,具有广阔的应用前景。它的研究内容十分广泛,是当今国内外测控技术、电子工程、自动化、计算机科学等领域研究的热门前沿课题之一。自 20 世纪 90 年代以来,国际上掀起了一股强劲的研究模糊逻辑系统、神经网络、遗传算法、小波变换、粗集理论、数据挖掘、数据融合理论与技术的热潮,目前在群智能、生物计算等方面的研究更是成为智能计算新的研究热点方向。这些研究进一步推动了智能计算及其信息处理技术的深入发展。近期《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》在支持的重点研究领域及其优先主题“信息产业及现代服务业”中列入了“传感器网络及信息处理”,其中对网络技术和智能信息处理技术予以高度关注。

本书根据测量系统的组成、特点以及信号测量处理的过程,从信号的获取、信号处理到信息融合,系统介绍了智能计算的基础理论和基本方法,以及各种新的智能信息处理技术。内容包括测试系统的组成和信息获取的过程、智能计算的产生和发展、数据融合的基本原理、神经网络计算、支持向量机、模糊集合与模糊逻辑、粗糙集、进化计算中的遗传算法、粒群智能、蚁群智能等的方法和实例,涉及目前国内外智能计算新的研究成果。

本书共分为4篇。第1篇是测试智能信息处理绪论,主要介绍测试系统的组成、特点以及智能技术的集成和数据融合技术的发展趋势;第2篇是神经计算,主要包括神经计算基础、神经计算基本方法、神经计算实现技术和支持向量机;第3篇是模糊计算,主要介绍模糊逻辑与模糊推理、模糊计算应用和粗糙集;第4篇是进化计算与群智能,主要介绍遗传算法、搜索禁忌算法、粒群智能和蚁群智能。本书的基本框架如图0.1所示。

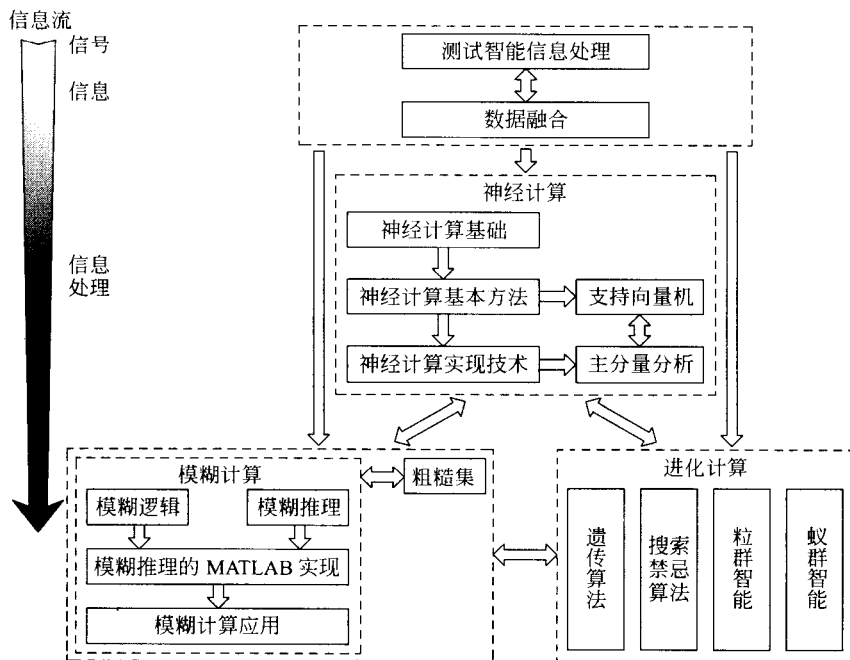


图 0.1 本书的基本框架

本书的总体策划、提纲制定和撰稿过程中,除作者本人外,王晟编写了第12~13章,毕道伟编写了第6章,马俊杰和丁梁参与编写了第9章。另外,课题组的王晟、马俊杰、毕道伟、丁梁、谢歆、姜爱国、付振波等也曾参与前期讨论和后期的文字校对和录入等工作,其中王晟、马俊杰、毕道伟、丁梁除了参与编写的章节以外,还承担了大量的绘图和文字等相关工作,王晟还对书中实例进行了验证,为此付出了大量心血。

衷心感谢清华大学尤政教授、王伯雄教授、丁天怀教授给予作者的关心、支持和帮助,衷心感谢哈尔滨电工仪表研究所张明远研究员对书稿内容给予的建设性意见和建议,没有他们的支持和帮助此书是难以呈现在读者面前的。本书还参考和引用了一些论文和书籍资料,在此也一并向有关作者表示衷心的感谢。

特别感谢我的妻子和可爱的女儿的支持和鼓励,还要感谢我的父母家人和所有给予

我支持和帮助的朋友,谨以此书献给他们。

最后还要特别感谢清华大学出版社的编审张秋玲,在本书的编写过程中始终给予我很多富有建设性的意见和建议,感谢清华大学出版社的支持。

本书的出版得到了国家基础研究 973 项目(2006CB303000)资助和国家自然科学基金 4 个项目(60673176,60373014,50175056,59805009)的资助,在此表示衷心的感谢!

测试智能信息处理是一门新兴交叉学科,很多理论方法与应用技术问题还有待进一步深入探索和发展。由于本人水平有限,加之时间仓促,书中缺点和不足在所难免,希望得到广大读者的批评指正。

作 者

2007 年 9 月于清华园

8/12 29/07

目录



第1篇 绪 论

1	测试智能信息处理概述	3
1.1	测试智能信息处理的产生及发展	3
1.1.1	测试系统的组成与特点	3
1.1.2	智能计算的产生与发展	5
1.2	智能信息处理的主要技术	8
1.2.1	神经计算技术	8
1.2.2	模糊计算技术	11
1.2.3	进化计算技术	12
1.3	智能技术的综合集成	16
1.3.1	模糊系统与神经网络结合	16
1.3.2	神经网络和遗传算法结合	17
1.3.3	模糊技术、神经网络和遗传算法综合集成	18
1.3.4	智能计算展望	18
	参考文献	19
2	数据融合与信息处理	20
2.1	多传感器数据融合概述	20
2.2	多传感器数据融合的基本原理	23
2.2.1	多传感器数据融合的目的	23
2.2.2	多传感器数据融合的层次与结构	24

2.2.3	数据融合中的检测、分类与识别算法	28
2.2.4	典型的数据融合方法	29
2.2.5	多传感器数据融合方法的特点	34
2.3	分布式自适应动态数据融合方法	34
2.3.1	测量模型与方法简述	34
2.3.2	测量数据范围的推导	35
2.3.3	最优范围的确定	36
2.4	小结	37
	参考文献	37

第2篇 神经计算

3	神经计算基础	43
3.1	人工神经网络基础	43
3.1.1	人工神经网络的提出	43
3.1.2	人工神经网络的特点	49
3.1.3	历史回顾	52
3.1.4	生物神经网络	55
3.1.5	人工神经元	56
3.1.6	人工神经网络的拓扑特性	59
3.1.7	存储与映射	65
3.1.8	人工神经网络的训练	67
3.2	感知器	69
3.2.1	感知器与人工神经网络的早期发展	69
3.2.2	感知器的学习算法	70
3.2.3	线性不可分问题	74
	参考文献	77
4	神经计算基本方法	78
4.1	BP 网络	78
4.1.1	BP 网络简介	78
4.1.2	基本 BP 算法	79
4.1.3	BP 算法的实现	86
4.1.4	BP 算法的理论基础	87
4.1.5	几个问题的讨论	91

4.2 径向基函数神经网络	93
4.2.1 函数逼近与内插	93
4.2.2 正规化理论	95
4.2.3 RBF 网络的学习	97
4.2.4 RBF 网络的一些变形	102
4.3 Hopfield 反馈神经网络	104
4.3.1 联想存储器	104
4.3.2 反馈网络	105
4.3.3 用反馈网络作联想存储器	111
4.3.4 相关学习算法	112
4.3.5 反馈网络用于优化计算	114
4.4 随机型神经网络	118
4.4.1 模拟退火算法	118
4.4.2 Boltzmann 机	122
4.4.3 Gaussian 机	136
4.5 自组织竞争网络	139
4.5.1 SOFM 网络结构	140
4.5.2 SOFM 网络的应用	143
4.5.3 ART 神经网络	144
参考文献	147

5 神经计算实现技术	149
5.1 神经网络计算的组织	149
5.1.1 输入层和输出层设计	149
5.1.2 网络数据的准备	151
5.1.3 网络初始权值的选择	153
5.1.4 隐层数及隐层结点设计	154
5.1.5 网络的训练、检测及性能评价	156
5.2 主分量分析	159
5.2.1 主分量分析基本原理	159
5.2.2 基于 Hebb 的最大特征滤波器	165
5.2.3 基于 Hebb 的主分量分析	167
5.2.4 计算机实验:图形编码	171
5.2.5 小结	173

5.3	神经计算的硬件和软件实现	174
5.3.1	硬件实现概述	174
5.3.2	神经元器件	177
5.3.3	神经网络系统结构	180
5.3.4	神经网络的光学实现	183
5.4	神经计算在机械制造设备中的应用	186
5.4.1	神经网络与机械制造工艺规程	186
5.4.2	神经网络与加工参数优化	192
5.4.3	神经网络与故障诊断	195
5.4.4	神经网络与工况监测及预报	201
5.4.5	神经网络与加工系统辨识及控制	209
	参考文献	215
6	支持向量机	217
6.1	统计学习理论的基本内容	217
6.1.1	机器学习的基本问题	217
6.1.2	学习机的复杂性与推广能力	219
6.1.3	统计学习的基本理论	219
6.2	支持向量机	221
6.2.1	最大间隔分类支持向量机	221
6.2.2	软间隔分类支持向量机	223
6.2.3	基于核的支持向量机	224
6.3	多分类支持向量机	225
6.3.1	直接法	226
6.3.2	分解法	226
6.4	基于 SVM 的机械设备故障诊断	229
6.4.1	实验平台及故障信号获取	229
6.4.2	基于小波包变换的故障特征提取	231
6.4.3	基于多类分类 SVM 的故障诊断识别	233
	参考文献	235

第3篇 模糊计算

7	模糊逻辑与模糊推理	239
7.1	模糊逻辑与模糊推理概述	239

7.1.1	模糊逻辑的历史	239
7.1.2	模糊集	242
7.1.3	隶属函数	246
7.1.4	模糊运算与模糊推理	253
7.1.5	模糊系统	262
7.2	模糊推理的 MATLAB 实现	278
7.2.1	模糊推理过程	279
7.2.2	模糊逻辑工具箱的图形界面工具	281
7.2.3	模糊逻辑工具箱的命令行工作方式	292
7.2.4	神经-模糊推理编辑器 ANFIS	296
	参考文献	303
8	模糊计算的应用	304
8.1	模糊 PID 控制	304
8.1.1	几种自适应 PID 控制	305
8.1.2	两种类型的模糊 PID 控制器	308
8.2	模糊逻辑系统应用设计实例	315
8.2.1	二关节机械手的逆运动学建模	315
8.2.2	卡车倒摆系统模糊控制	322
8.2.3	模糊自适应降噪	332
8.2.4	卡车倒车的模糊控制系统	337
8.2.5	小结	342
	参考文献	342
9	粗糙集	344
9.1	智能数据预处理及知识系统表达	344
9.1.1	数据表知识表达系统	344
9.1.2	不完整、不精确数据预处理	346
9.1.3	属性值的离散归一化处理	350
9.2	知识与分类、近似与粗集的基本概念	352
9.2.1	知识与分类	352
9.2.2	集合近似与粗集的概念	355
9.2.3	集合近似及分类近似的度量	360
9.3	知识系统的简化和逻辑表达	363

9.3.1	知识的简化	363
9.3.2	知识的相对简化	365
9.3.3	范畴的简化	367
9.3.4	范畴的相对简化	368
9.3.5	知识的依赖性	369
9.3.6	知识表达系统数据的协调性	371
9.3.7	知识表达系统属性的简化	372
9.3.8	知识表达系统决策规则的简化	373
9.3.9	推理学习	376
9.4	集成粗糙神经网络预示诊断应用	380
9.4.1	集成粗糙神经网络的融合算法	381
9.4.2	车轮踏面擦伤融合预示诊断实验	383
9.4.3	小结	385
	参考文献	386

第4篇 进化计算与群智能

10	遗传算法	391
10.1	遗传优化算法基础	391
10.1.1	遗传算法的产生与发展	391
10.1.2	遗传算法概要	393
10.1.3	遗传算法的应用情况	398
10.1.4	基本遗传算法	400
10.1.5	模式定理	410
10.1.6	遗传算法的改进	413
10.1.7	遗传算法与函数最优化	420
10.1.8	遗传算法与系统辨识	424
10.1.9	遗传算法与神经控制	431
10.1.10	小结	435
10.2	遗传优化算法的工程应用	436
10.2.1	遗传算法在无约束优化中的应用	436
10.2.2	遗传算法在非线性规划中的应用	439
10.2.3	遗传算法在可靠性优化中的应用	443
10.2.4	遗传算法在车间布局优化中的应用	447

10.2.5	遗传算法在参数优化中的应用	453
	参考文献	460
11	禁忌搜索算法	462
11.1	禁忌搜索算法的要素	462
11.1.1	禁忌搜索算法的基本思想	462
11.1.2	禁忌搜索算法的主要构成	463
11.1.3	禁忌搜索算法的求解过程	465
11.2	禁忌搜索算法示例	466
11.3	禁忌搜索算法的发展和应用	468
11.3.1	并行禁忌搜索算法	468
11.3.2	遗传算法与禁忌搜索算法的混合策略	469
11.3.3	Flow-shop 问题的禁忌搜索算法	471
11.3.4	禁忌搜索算法流程	472
11.3.5	基于禁忌搜索的函数优化	474
11.4	小结	478
	参考文献	478
12	粒群智能	480
12.1	引言	480
12.1.1	微粒群算法综述	480
12.1.2	微粒群算法的研究方向	481
12.2	微粒群算法的基本原理	482
12.2.1	引言	482
12.2.2	基本微粒群算法	483
12.2.3	基本微粒群算法的社会行为分析	484
12.2.4	带惯性权重的微粒群算法	486
12.3	改进微粒群算法	487
12.3.1	基本微粒群算法进化方程的改进	487
12.3.2	收敛性改进	491
12.4	微粒群算法的实验设计与参数选择	494
12.4.1	设计微粒群算法的基本原则与步骤	494
12.4.2	几种典型的微粒群模型及参数选择	496
12.5	基于微粒群算法的人工神经网络优化	501

12.5.1	神经网络的微粒群算法优化策略	501
12.5.2	协同微粒群算法优化神经网络	503
12.6	无线传感网络节点位置微粒群优化	504
12.6.1	问题模型与假设	505
12.6.2	基于微粒群算法的移动节点位置优化	507
12.6.3	并行微粒群优化策略的基本原理	508
12.6.4	仿真实验分析	509
	参考文献	511
13	蚁群智能	514
13.1	引言	514
13.1.1	双桥实验	515
13.1.2	随机模型	517
13.2	人工蚂蚁模型	518
13.2.1	人工蚂蚁方法	518
13.2.2	人工蚂蚁和最小成本路径	520
13.3	蚁群优化元启发式算法	527
13.3.1	问题描述	528
13.3.2	蚂蚁的行为	529
13.3.3	元启发式算法	530
13.4	蚁群优化算法应用	531
13.4.1	故障诊断	531
13.4.2	机器人领域	535
13.4.3	图像处理	539
	参考文献	542

第 1 篇 绪 论

1

测试智能信息处理概述

1.1 测试智能信息处理的产生及发展

1.1.1 测试系统的组成与特点

当前科技界普遍认为,信息技术由 4 大部分组成,即信息获取、信息传输、信息处理与信息应用。这 4 部分组成了一个如图 1.1 所示的信息链,信息链的源头是信息获取,属于仪器测试与检测技术的研究范畴。

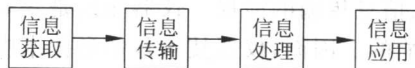


图 1.1 信息技术的 4 个组成部分及其信息链

仪器测试与检测技术的基本任务是研究信息获取技术及信息相关物理量的测量方法,并解决如何准确地获得和处理信息的问题,为被测信号(或数据)正确、可靠的传输提供必要的技术支持。同时针对信息获取、变送传输、数据处理和执行控制等部分的需要,研究在相关的信号产生、对象追踪、状态反馈、信息传送、动作控制、结果输出等技术环节中应用的控制技术与方法。

仪器测试与检测技术是一门工程应用技术,具有鲜明的时代性,其内涵随着科学技术的发展与时俱进。仪器已从单纯的机械结构、机电结构发展成为集传感器技术、计算机技术、电子技术、现代光学、精密机械等多种高新技术于一身的产品,其用途也从单纯的数据采集发展为集数据采集、信号传输、信号处理以及控制为一体的测控过程。进入 21 世纪以来,随着计算机网络技术、软件技术、微纳米技术的发展,仪器技术出现了智能化、虚拟化、远程化和微型化的发展趋势。

仪器科学与技术学科的结构内容与信息类学科(如自动化学科、电子信息学科)虽有重叠,但各自的研究目标和侧重点不同,“测量、控制、仪器”是描述仪器仪表类专业的关键词,也是区别于其他信息类专业的特征点。仪器科学与技术学科所进行的测量研究,主要从信息获取技术上掌握相关物理量的测量方法并解决如何准确获得信息的信号与数据处