



华夏英才基金学术文库

王 祁 等 编著

传感器信息处理及应用



科学出版社

 华夏英才基金学术文库

传感器信息处理及应用

王 祁 等 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

各种自动化智能化测控系统和设备中都安装着大量不同种类的传感器,它们产生的大量数据中包含着丰富的信息。本书介绍如何利用智能理论和方法处理传感器信息并揭示系统的内在规律,包括人工神经网络、盲源分离、支持向量机、主成分分析、粒子群优化算法、小波熵、粗糙集、相关向量机、数据挖掘等理论方法,以及应用这些理论方法对传感器信息进行处理实例;如何利用信息处理方法对传感器进行故障诊断和数据重构;介绍自确认传感器原理及其信息处理方法;传感器的信息融合及应用、无线传感器网络中的信息处理技术。本书还介绍多种最新的信息处理方法及其在传感器信息处理中的应用。注重理论联系实际,应用实例均取材于作者的科研项目 and 国内外最新的研究成果。本书各章独立,读者可根据需要选读。

本书可作为电子信息、自动化、仪器科学与技术等专业的硕士生、博士生的教学用书,也可供相关领域的科研人员、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器信息处理及应用/王祁等编著. —北京:科学出版社,2012
(华夏英才基金学术文库)
ISBN 978-7-03-032791-8

I. 传… II. 王… III. 传感器-信息处理 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 233738 号

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:钟 洋
责任印制:赵 博 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏 杰 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 27

字数: 532 000

定价: 90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

传感器是当今科技发展的关键技术之一,作为信息获取的源头,它越来越多地受到人们的重视。现代传感器正朝着微型化、数字化、集成化、智能化、网络化、高精度和多功能的方向发展。

现在社会中,各种先进的装备都朝自动化、智能化方向发展,其中使用的传感器的数量和种类也越来越多。例如,美国在 2009 年发射的“战神 1 号”火箭上安装了 700 多个传感器。如何处理自动化系统产生的大量数据的问题也日益显现出来。

处理传感器测量数据,首先要进行滤波、放大和 A/D 转换,有的系统还要对传感器进一步进行线性化、温度补偿。这些都属于传感器信号调理和传感器数据处理的范畴。传感器数据真实地反映系统各部分的状态及其变化,含有丰富的信息。面对系统中各种传感器实时提供的大量数据,利用智能理论和方法,通过信息处理手段,可以揭示系统内部深层次的规律。本书所研究的信息处理就是用智能理论和方法,对传感器测量数据进行分析 and 处理,挖掘数据隐含的规律 and 知识,深入了解系统的状态及变化,对系统进行状态评估、健康预测和故障诊断。

传感器信息处理是传感器技术与数理统计、人工智能、计算智能、模式识别、信息处理等学科相互交叉融合的研究领域。近年来,智能理论及智能信息处理发展很快,学者们模拟人类和动物的智能行为,研究各种算法和结构,并将其应用到各种智能化系统中。外国学者也利用智能理论算法处理传感器的数据,完成特征提取、分类、诊断、预测等任务,并利用信息处理方法开发新型传感器,如自确认传感器。随着科学技术的发展,传感器信息处理技术必将日益受到人们的关注,并得到进一步发展。

本书研究利用智能理论和方法对传感器信息进行处理。第 1 章绪论,介绍传感器信息处理研究的内容及与数据处理的区别。第 2 章基于智能理论的传感器信息处理,介绍盲源分离、支持向量机、粒子群优化算法、小波熵、粗糙集理论、相关向量机、数据挖掘等理论方法,介绍将这些理论方法应用于传感器信息处理的实例。第 3 章基于神经网络的传感器信息处理,介绍人工神经网络及其在传感器信息处理中的应用。重点介绍几种常用的神经网络,如 BP 网络、径向基函数神经网络、自组织特征映射模型、模糊神经网络、遗传神经网络、小波神经网络、灰色神经网络及其在传感器信息处理中的应用。第 4 章传感器信息融合,重点介绍自动化领域常用的几种传感器信息融合方法及其应用。第 5 章介绍几种传感器故障诊断及数

据恢复方法,各种自动化系统都依靠传感器的测量数据进行控制,如果传感器发生故障,将会给系统运行造成损失,甚至发生灾难。因此传感器故障诊断及其数据恢复问题日益受到人们的关注。第6章介绍自确认传感器的结构、自确认方法及自确认传感器的实例。这种自确认功能主要是通过智能信息处理实现的。第7章无线传感器网络信息处理技术,介绍无线传感器网络中的协同信息处理、信息融合、数据压缩等。

近年来,作者一直研究传感器及其信息处理,在传感器信息处理的研究方向,指导研究生完成了10余篇博士论文。本书是作者多年科研成果的总结,其中凝聚着多名研究生的研究成果,他们是聂伟、魏玮、徐涛、冯志刚、朱宁、张文斌、刘贞、梁廷伟、戴冬雪、宋凯、王翥、赵树延、国天栋、申争光、朱凤宇等博士,刘领、刘鹏飞、郭小凤、范力维、于明帅、代晓倩、赵怡、刘奇等硕士。宋凯博士撰写第2章和第3章第9节,朱凤宇博士撰写第3章,徐涛博士撰写第5章,冯志刚博士撰写第6章,申争光博士撰写第7章和第2章第7节,王祁撰写其余部分并统稿。

本项研究得到了国家自然科学基金(60572010、60871034)和博士点基金(200802130020)的支持。本书的出版得到华夏英才基金委员会、中共黑龙江省委统战部、黑龙江省政府参事室、中共哈尔滨工业大学统战部的支持。在本书出版之际,谨向他们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中疏漏及不足之处在所难免,书中许多观点为一家之言,请各位专家与读者不吝赐教。

路漫漫其修远兮,吾将上下而求索!

谨以此书献给我的母校哈尔滨工业大学。

王 祁

2011年8月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 传感器与信息处理技术	1
1.1.2 传感器数据处理与信息处理	2
1.1.3 传感器信息处理的发展	2
1.2 传感器数据处理	3
1.2.1 数字滤波	4
1.2.2 非线性校正	4
1.2.3 温度补偿	4
1.2.4 传感器误差处理	5
1.3 传感器信息处理	5
1.3.1 传感器信息处理的目的	5
1.3.2 多传感器系统中检测数据的特点	5
1.3.3 本书的研究内容	6
参考文献	7
第 2 章 基于智能理论的传感器信息处理	10
2.1 基于盲源分离理论的传感器信息处理	10
2.1.1 盲源分离基本理论	10
2.1.2 盲源分离在传感器信息处理中的应用实例	14
2.2 基于支持向量机的传感器信息处理	26
2.2.1 SVM 基本原理	26
2.2.2 多分类支持向量机	28
2.2.3 SVM 模型参数选择	31
2.2.4 最小二乘支持向量回归原理	33
2.2.5 支持向量机在传感器信息处理中的应用实例	34
2.3 基于粒子群优化算法的传感器信息处理	47
2.3.1 PSO 基本原理	47
2.3.2 PSO 的改进算法	48
2.3.3 粒子群优化算法在传感器信息处理中的应用实例	49

2.4 基于小波熵理论的传感器信息处理	55
2.4.1 小波分析基础	55
2.4.2 小波熵基本原理	59
2.4.3 小波熵在传感器信息处理中的应用实例	61
2.5 基于粗糙集理论的传感器信息处理	66
2.5.1 粗糙集理论基本概念	66
2.5.2 粗糙集约简概念	67
2.5.3 常用属性约简算法分析	69
2.5.4 粗糙集理论在试车台系统故障诊断中的应用	70
2.6 基于相关向量机的传感器信息处理	84
2.6.1 RVM 基本原理	85
2.6.2 RVM 决策函数复杂度分析	87
2.6.3 RVM 与 SVM 性能比较	88
2.6.4 相关向量机在传感器信息处理中的应用实例	89
2.7 数据挖掘技术在多传感器信息处理系统中的应用	93
2.7.1 数据挖掘的概念	93
2.7.2 数据挖掘技术的功能	95
2.7.3 基于分类和预测的数据挖掘技术在多传感器系统中的应用	96
2.7.4 基于关联准则的数据挖掘技术在多传感器系统中的应用	96
2.7.5 基于聚类分析的数据挖掘技术在多传感器系统中的应用	97
2.7.6 基于时间序列分析的数据挖掘技术在多传感器系统中的应用	97
参考文献	98
第3章 基于神经网络的传感器信息处理	103
3.1 人工神经网络	103
3.1.1 神经网络概述	103
3.1.2 基本结构	106
3.2 BP 神经网络	107
3.2.1 BP 神经元模型	107
3.2.2 BP 学习算法	109
3.3 RBF 神经网络	114
3.3.1 RBF 神经网络的结构	114
3.3.2 RBF 神经网络的映射关系	115
3.3.3 RBF 网络训练的准则和常用算法	116
3.3.4 RBF 神经网络与 BP 神经网络的比较	119
3.4 SOM 神经网络	120

3.4.1 Kohonen 自组织映射网络结构	120
3.4.2 Kohonen 自组织映射算法	121
3.5 模糊神经网络	123
3.5.1 模糊神经网络简介	123
3.5.2 模糊神经网络实例	124
3.6 遗传神经网络	129
3.6.1 遗传神经网络简介	129
3.6.2 遗传神经网络实例	132
3.7 小波神经网络	136
3.7.1 小波神经网络简介	136
3.7.2 小波神经网络实例	139
3.8 灰色神经网络	144
3.8.1 灰色神经网络简介	144
3.8.2 灰色神经网络实例	147
3.9 基于人工神经网络的传感器信息处理	151
3.9.1 BP 网络用于多种气体分类	151
3.9.2 应用 RBF 神经网络对混合气体浓度进行定量测量	155
3.9.3 组合 PCA 与 BP 网络混合气体浓度测量	156
3.9.4 基于 RBF 神经网络时间序列预测器的传感器故障诊断	158
参考文献	161
第 4 章 传感器信息融合	166
4.1 概述	166
4.1.1 传感器融合技术的产生和发展	166
4.1.2 传感器融合的概念	167
4.1.3 传感器融合的特点	168
4.1.4 传感器融合的应用	168
4.2 传感器信息融合系统的结构	169
4.2.1 信息融合的层次结构	169
4.2.2 信息融合的体系结构	171
4.2.3 传感器信息融合的算法	173
4.3 基于贝叶斯理论的传感器信息融合	174
4.3.1 贝叶斯条件概率公式	174
4.3.2 基于贝叶斯理论的传感器信息融合	174
4.3.3 贝叶斯方法在信息融合中的应用实例	176
4.4 基于 D-S 理论的传感器信息融合	178

4.4.1	D-S 证据理论	178
4.4.2	基于 D-S 证据理论的信息融合	180
4.4.3	基于 D-S 证据理论信息融合的应用实例	181
4.5	基于模糊集理论的传感器信息融合	183
4.5.1	模糊集理论简介	183
4.5.2	基于模糊集理论的传感器信息融合	184
4.5.3	基于模糊理论进行多传感器信息融合的环境监测系统	185
4.6	基于人工神经网络的传感器信息融合	189
4.6.1	人工神经网络与传感器信息融合	189
4.6.2	基于人工神经网络的传感器信息融合方法	189
4.6.3	基于人工神经网络的传感器信息融合实例	190
	参考文献	194
第 5 章	传感器故障诊断及数据恢复	197
5.1	概述	197
5.1.1	传感器故障诊断及数据恢复的意义	197
5.1.2	传感器故障特性分析	197
5.1.3	诊断方法综述	198
5.1.4	内容简介	205
5.2	基于数学模型的诊断方法	205
5.2.1	基于观测器的诊断方法	205
5.2.2	基于滤波器的诊断方法	209
5.3	基于 PCA 的故障诊断与数据重构方法	213
5.3.1	前言	213
5.3.2	PCA 简介	214
5.3.3	基于 PCA 的诊断模型	216
5.3.4	故障诊断算法仿真验证	222
5.3.5	基于 PCA 的传感器故障诊断新技术	227
5.4	基于神经网络的故障诊断与重构方法	249
5.4.1	人工神经网络传感器故障诊断原理	249
5.4.2	神经网络时间序列预测器设计	250
5.4.3	基于 Elman 人工神经网络的故障数据重构	255
5.5	基于模式识别的诊断方法研究	257
5.5.1	模式识别基本原理	257
5.5.2	基于模式识别的传感器故障诊断原理	258
5.5.3	基于小波包分解的传感器故障特征提取	259

5.5.4 基于神经网络的传感器模式分类	259
5.5.5 基于减法聚类的传感器新型故障辨识	262
5.5.6 故障诊断算法仿真验证	263
参考文献	268
第 6 章 自确认传感器	277
6.1 概述	277
6.2 自确认传感器原理	278
6.2.1 有关概念	278
6.2.2 输出参数	279
6.2.3 研究内容	281
6.3 自确认传感器的结构	283
6.3.1 PC 机+数据采集卡	283
6.3.2 固定结构的专用硬件平台	284
6.3.3 基于可编程硬件的通用硬件平台的开发	284
6.4 自确认传感器算法	285
6.4.1 自确认传感器故障诊断和信号恢复算法	285
6.4.2 自确认参数计算方法	289
6.5 自确认传感器举例	298
6.5.1 自确认溶解氧传感器	299
6.5.2 自确认差压流量计	306
6.6 自确认压力传感器	311
6.6.1 结构设计	312
6.6.2 故障检测方法	313
6.6.3 故障诊断方法	315
6.6.4 自确认参数计算方法	324
6.6.5 试验系统设计及试验	326
6.7 多功能自确认传感器	331
6.7.1 概念及其功能模型	332
6.7.2 特征	333
6.7.3 关键技术	334
6.7.4 发展方向	335
6.7.5 基于 RVM 的多功能自确认水质检测传感器	336
参考文献	342
第 7 章 无线传感器网络信息处理技术	348
7.1 概述	348

7.1.1 无线传感器网络介绍	348
7.1.2 主要研究内容	349
7.2 无线传感器网络协同信息处理技术	351
7.2.1 基于移动汇聚节点组织策略的无线传感器网络协同信息获取	351
7.2.2 基于动态联盟的无线传感器网络协同方法	360
7.3 无线传感器网络数据融合技术	364
7.3.1 基于路由的无线传感器网络数据融合	365
7.3.2 基于统计特性的分布卡尔曼滤波在无线传感器网络数据融合中的应用	368
7.3.3 基于组播树的无线传感器网络数据融合技术	373
7.3.4 基于时间序列预测的无线传感器网络信息融合	377
7.4 无线传感器网络数据压缩	384
7.4.1 基于排序编码的无线传感器网络数据压缩	384
7.4.2 基于管道的无线传感器网络数据压缩	386
7.4.3 基于分布式数据压缩算法在无线传感器网络中的应用	387
7.4.4 压缩传感思想与网络化信息获取	390
7.5 无线传感器网络安全性	394
7.5.1 基于数据保密性的数据融合安全方案	394
7.5.2 基于数据完整性的数据融合安全方案	397
7.6 智能无线传感器网络监测系统及信息处理技术	401
7.6.1 无线传感器网络协同智能交通系统	401
7.6.2 建筑结构无线传感器网络健康监测系统及信息处理技术	404
7.6.3 农业灌区无线传感器网络监测系统及信息处理技术	407
7.6.4 基于无线传感器网络的多机器人声源目标协作搜寻系统	410
参考文献	417

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 传感器与信息处理技术

在当今信息化社会中,传感器作为信息获取源头,广泛应用在工业、交通、科研、军事等各个领域,越来越受到各界的重视,许多国家都把传感器作为关键技术列入科技发展规划。传感器的水平在一定程度上代表着一个国家的科技发展水平。现在各国都在研究开发新型的先进传感器,传感技术正朝着微型化、数字化、集成化、智能化、网络化、高精度和多功能的方向发展。

传感器的应用越来越广泛,无论是飞船、导弹、飞机、舰艇,还是汽车、家用电器,传感器无所不在。自动化、智能化程度越高,使用的传感器越多。一辆高级轿车上安装的各种传感器数以百计。2009 年,美国发射的大型运载火箭“战神 1 号”搭载了 700 多个传感器。各种自动化设备以及现代化生产线上,都安装了大量的传感器,用于检测自身的工作状态和环境,进一步实施数据显示和自动控制。

传感器的输出信号一般较弱,需要进行信号调理,如滤波、放大、A/D 转换等,另外还需要进行数据处理。常用的数据处理方法有数字滤波、非线性校正、误差补偿(包括温度补偿)等。这些数据处理任务可以在计算机中完成。随着传感技术的发展,现已研制出许多智能传感器,国外称为 smart sensor 或 intelligent sensor。这些智能传感器由敏感元件和微处理器组成,微处理器完成相应的数据处理任务,同时还可以使智能传感器具有一定的自检、自诊断等功能。各种传感器数据处理方法已经应用得相当普遍。

其实对传感器数据进行处理的任务远不止于此。传感器作为信息获取的源头,直接从被测对象或系统中获取原始数据,数据中含有大量信息,数据越多,信息量越大。这些信息反映被测对象或目标的状态、工作情况及变化趋势,是非常有用的信息,应该把这些信息充分利用起来。

传感器是当今科技发展的热点之一。传感技术的发展主要靠传感器性能指标的提高和新型传感器的研制。但是传感器的应用也属于传感技术中不可忽略的一部分。如何合理使用各种传感器、充分发挥它的效能,如何从系统中传感器提供的大量数据中挖掘、提取有用的信息,这些问题日益引起人们的重视。

近年来信息处理技术发展非常快,模拟人类智能和生物进化的各种智能算法不断涌现,并成功地用于解决各个领域的信息处理问题。自 20 世纪 80 年代以来,模拟人脑结构及思维规律的人工神经网络(artificial neural network, ANN)、模拟人类思维及认知方式的模糊集理论、模拟生物进化方式的进化计算以及蚁群算法、粒子群算法、支持向量机(support vector machines, SVM)、粗糙集等各种理论算法让人目不暇接,为信息处理技术增添了许多强有力的工具。这些理论算法有效地解决了各种信息处理问题,使人们有可能更深刻、更全面的认识事物。这些理论方法也应用到了传感技术领域,使传感器信息处理技术不断发展。

1.1.2 传感器数据处理与信息处理

本书研究的传感器信息处理不同于一般的传感器数据处理,而是主要研究利用智能理论和方法处理传感器信息。

传感器数据处理是在数据的层次,主要解决数据形式的变换、误差处理等问题,目的在于完成测量任务;而传感器信息处理则是在信息的层次,利用各种智能理论和算法对传感器数据进行深层次的处理,对被测对象或目标的状态、特征、规律、关系、变化趋势等内在的特性进行分析,从中发现规律、发现知识,进而更全面、更深入地认识事物的本质。

随着科技的发展,传感器的应用领域不断扩大,使用的方式也发生了改变。过去用单传感器或几个传感器进行静态测量,而现在许多系统中使用大量的多种传感器进行实时的动态测量。这些传感器提供大量甚至海量数据,这些数据记录了系统的运行状态,描述了系统的变化,预示着发展趋势。数据中蕴涵着许多规律和知识。近年来,迅速发展的数据挖掘技术就是研究如何从大量数据中寻找隐含的规律和知识。同样,传感器数据中也隐含着相应的知识。一个传感器的一个数据是反映被测对象在某一时刻某个物理量的数值,实时测量的时间序列数据则可以反映该物理量随时间的变化情况。多个传感器的数据则从不同的侧面描述被测对象或系统的情况。这些大量的动态数据含有关于系统和被测对象的大量的丰富信息,隐含着许多规律和知识。人们可以利用先进的智能信息处理技术和方法,分析和处理传感器信息,从而更全面系统地认识被测对象或系统的全貌和本质。因此,作为传感器的使用者,应该充分利用传感器的测量数据,不要轻易浪费大量传感器提供的信息,通过传感器信息处理方法,获得更多的关于被测对象和系统的更深层次的信息。所以在研究开发新型传感器的同时,另一个应该引起重视的问题就是如何有效地、充分地利用传感器获取的信息。

1.1.3 传感器信息处理的发展

传感器信息处理技术是传感技术和信息处理技术结合的产物。一方面,系统

中大量传感器的数据提供的丰富信息需要提取和利用;另一方面,智能理论和信息处理技术为传感器信息处理提供强有力的工具。因此利用智能理论和方法处理传感器数据是科技发展的必然趋势。

近年来,各国学者和科技人员研究用各种智能理论和信息处理方法处理各种传感器数据。20世纪80年代掀起人工神经网络的研究高潮,人工神经网络在各个领域得到非常广泛的应用。各国学者也研究利用它来处理传感器数据,如利用人工神经网络对传感器进行非线性校正^[1,2],对传感器进行分类;近年来又研究利用人工神经网络进行传感器信息融合、传感器故障诊断及健康预测^[3~10]。盲信号处理技术出现后也迅速应用于传感器信息处理,利用盲源分离(blind source separation, BSS)方法处理传感器获取的胎音信号^[11]、抑制外界环境对电子鼻的干扰^[12]、消除传感器的漂移^[13]、从混合气体中辨识气体成分^[14]。文献[15]提出了利用盲源分离方法处理传感器阵列信号的思想,并成功解决了霍尔传感器阵列的交叉敏感效应。

SVM是在统计学习理论上发展起来的一种学习方法,在传感器信息处理领域显示了很好的应用前景。在文献[16]、[17]中,SVM用来处理气体传感器信号,实现电子鼻气体分类的功能。在文献[18]、[19]中,SVM用于传感器的故障诊断。文献[20],提出了一种基于回归SVM的故障诊断方法。该方法能够较好地应用于非线性系统和高阶系统,在小训练样本的情况下也能得到较好的诊断效果。

随着传感器在系统中重要性的不断提高,传感器本身的故障问题越来越得到人们的关注。现在许多系统故障都是由传感器故障引起的。各国学者开始应用各种信息处理方法研究传感器故障诊断问题^[21~23],这是传感器信息处理的重要研究内容之一。

智能化是传感器的发展方向。现阶段的智能传感器大都是利用微处理器对传感器数据进行数据处理,实现校正、补偿、自诊断等功能。可以说,目前的智能传感器大都处于数据处理层次,虽然称之为智能传感器,但其智能程度与人类的智能相差甚远。利用传感器信息处理方法可以提高传感器的智能。英国教授 Henry 和 Clarke 提出自确认传感器,这种传感器可以对自身状态进行自确认^[24]。这种功能的实现就是依赖于信息处理方法。因此可以说,传感器信息处理技术可以提高传感器智能水平,并能构造新型原理的传感器。目前,国内外许多学者在进行这方面的研究^[25~33]。

传感器信息处理的发展方兴未艾。随着传感技术、信息处理技术的发展,传感器信息处理将会得到更大的发展,并将不断促进智能传感器的发展。

1.2 传感器数据处理

传感器输出的信号大都是比较弱的模拟信号,一般需要经过滤波、放大后送给

二次仪表。在计算机控制的数据采集系统中,传感器信号还要进行 A/D 转换,转换成数字信号后送给计算机,然后可进行数字滤波、非线性校正、温度补偿、误差处理等。智能传感器中的微处理器可以完成这些数据处理工作。

为了进一步明确传感器信息处理与数据处理的区别,下面简单介绍几种常见的传感器数据处理方法。

1.2.1 数字滤波

传感器的输出信号中通常混杂着不同形式的噪声。传感器信号经过 A/D 转换成数字量时,噪声也会变换成尖脉冲之类的随机干扰信号。计算机或微处理器可以通过软件进行数字滤波。当信号频谱与噪声频谱不重合时,可以利用数字滤波器滤除噪声,而保留有用信号。与电子器件组成的模拟滤波器相比,数字滤波器设计灵活、调整方便、稳定性和重复性好,在智能仪器及各种数字系统中得到广泛应用。

1.2.2 非线性校正

传感器的敏感元件输出的信号大都是非线性的。使用者希望传感器具有线性特性,这样不但读数方便,而且使仪表在整个刻度范围内灵敏度一致,便于对系统进行分析处理。为了实现传感器输入-输出特性线性化,需要进行非线性校正。可以在设计传感器时进行非线性补偿,也可以在传感器输出接口电路中设计非线性补偿电路。但这种依靠硬件进行校正的方法比较复杂。

由于采用了微处理器,智能传感器和数据采集系统可以利用软件进行非线性校正,但必须要求传感器的输入-输出特性具有重复性。非线性校正的原理是利用与输入特性相反的曲线进行校正,可以采用查表法、曲线拟合法、插值方法进行非线性校正。

查表法是一种分段线性差值法。首先,根据精度要求对非线性校正曲线进行分段,用若干段折线逼近曲线;然后,将分段点的坐标存入数据表中,测量时将实际输出对应到某一段内,并根据段内的线性差值直线求取,即可得到非线性校正后的测量结果。

曲线拟合法是利用 n 次多项式来实现非线性校正曲线。根据最小二乘法求待定常数,得到非线性拟合方程,并将求得的参数存入内存中。测量时将测量值代入公式中进行运算,即可得到校正后的输出。

用微处理器进行非线性补偿常采用插值方法实现。首先,用实验方法测出传感器的特性曲线,然后进行分段插值,只要插值点数取得合理且足够多,即可获得良好的线性度。

1.2.3 温度补偿

传感器的输出特性受环境温度的影响较大,温度变化会给测量结果带来不可

忽视的误差。在智能传感器或数据采集系统中,可以通过软件实现传感器的温度补偿。在计算机或微处理器中建立起表达温度变化的数学模型(如多项式),用插值或查表的数据处理方法,便可有效地实现温度补偿。

1.2.4 传感器误差处理

传感器和仪器仪表一样,测量过程中不可避免产生误差。传感器误差处理是数据处理的重要内容。根据传感器误差的特征规律,利用概率与数理统计方法处理传感器测量数据的误差。

1.3 传感器信息处理

1.3.1 传感器信息处理的目的

传感器信息处理采用智能理论和方法处理传感器数据,从传感器数据蕴涵的丰富信息中深入挖掘其中的知识和规律,全面认识被测对象及系统。通过传感器信息处理可以解决以下几方面的问题。

- (1) 提取被测对象或系统的特征,深入了解被测对象或系统。
- (2) 对被测对象进行分类或识别。
- (3) 对被测对象或系统进行状态评估、故障诊断,认识系统的发展变化规律,进行健康预测。
- (4) 通过信息处理,使传感器具有更高级的智能。
- (5) 提高传感器的信息处理能力,进而构建新型的智能传感器。

1.3.2 多传感器系统中检测数据的特点

为了处理传感器信息,必须了解系统中多个传感器数据的特性。这些数据除了具有独立的传感器特性外,还体现出系统中多传感器之间的关系及其特点。我们可以根据这些特点采用不同的信息处理方法。

1) 随机性

与所有测量数据一样,传感器输出的数据具有一定的随机性。在传感器测量过程中,温度、振动、被测对象的变化等因素,都可能成为随机干扰的来源,因此,传感器的数据不可避免地具有一定的随机性。

2) 冗余性

冗余信息是指由一组传感器(或一个传感器多次观测)获得的关于同一对象的特征信息。例如,针对同一检测对象放置多个传感器,这些传感器的输出信息具有不同程度的冗余性。

3) 互补性

每个传感器都具有各自的功能、特性和应用范围。系统仅仅依靠单个传感器是不能满足要求的。如果利用多种传感器的差异进行互补,就能得到比单一传感器更丰富的信息。互补信息就是由两个或多个独立的传感器所提供的,它们从不同侧面描述同一对象或环境,提供不相互重复的多个信息,这些信息构成对目标完整的描述。

4) 协同性

协同性表示多传感器系统中各个传感器之间的相互依赖或相互配合关系。例如,某个传感器对温度有极强的依赖性,它的测量结果与温度有密切关系,那么,只有它与温度传感器协同工作才能正确描述被测对象的特性。

5) 相关性

系统中各种传感器检测不同的物理量,如果这些物理量具有相关性,则相应传感器的检测数据具有一定的相关性。

1.3.3 本书的研究内容

现在,传感技术和信息处理技术的发展很快,各种新型传感器不断诞生,各种信息处理方法不断涌现,传感器信息处理的方法也很多。本书所介绍的仅仅是传感器信息处理的一部分。本书力求理论联系实际,在介绍每种信息处理方法之后,介绍应用该方法处理传感器信息的实例,目的在于让读者了解如何利用这种方法解决传感器信息处理问题。由于介绍的方法较多,因此不可能全面系统地介绍各种理论方法。欲深入了解理论方法,请查阅相关论著。

第1章绪论,主要介绍传感器信息处理研究的内容以及它与传感器数据处理的区别。

第2章介绍基于智能理论的传感器信息处理。现在已经研究出许多模拟人类思维和生物进化的智能算法。这一章主要介绍盲源分离(blind source separation, BSS)、支持向量机(support vector machine, SVM)、粒子群优化算法(particle swarm optimization, PSO)、小波熵(wavelet entropy, WE)、粗糙集(rough sets, RS)理论、相关向量机(relevance vector machine, RVM)、数据挖掘(data mining)等理论方法,然后介绍利用这些方法进行传感器信息处理,解决气体识别、特征提取、状态监测的实例。

第3章介绍人工神经网络及其在传感器信息处理中的应用。近年来人工神经网络与各种智能算法相结合,构造出许多新型神经网络,并得到很好的应用效果。这一章重点介绍几种常用的神经网络,如BP网络、径向基函数(radial-basis function, RBF)、自组织神经网络(self-organization mapping, SOM)、模糊神经网络(fuzzy neural network, FNN)、遗传神经网络(genetic neural network, GNN)、小