



刘静纨 编著

变风量空调 模糊控制技术的应用

中国建筑工业出版社

变风量空调模糊控制技术的应用

刘静纨 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变风量空调模糊控制技术及应用/刘静纨编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2011.7
ISBN 978-7-112-13068-9

I. ①变… II. ①刘… III. ①变风量—空调—模糊控制
IV. ①TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 043913 号

本书重点介绍了五种模糊控制方法, 即模糊控制、自调整模糊控制、模糊 PID 控制、神经网络模糊预测控制、模糊神经网络控制, 将五种模糊控制方法分别应用于变风量空调系统中, 对室内温度 (回风温度)、送风温度进行了控制研究。

全书共分 14 章, 即绪论、变风量空调系统、变风量空调系统末端装置、变风量空调系统的控制、模糊控制的理论基础、模糊控制理论及其设计方法、神经网络、模糊控制技术在变风量空调系统中的应用、自调整模糊控制技术在变风量系统中的应用、模糊 PID 控制在变风量空调系统中的应用研究、神经网络模糊预测控制在变风量空调系统中的应用、基于嵌入式控制器的变风量空调控制系统、模糊神经网络控制在变风量空调系统中的应用、楼宇控制系统的通信网络架构。

本书可以作为暖通空调设计人员、变风量空调系统设计人员以及高等院校暖通空调专业、自动控制专业等大、中专学生和研究生参考书籍。

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 赵 颖

变风量空调模糊控制技术及应用

刘静纨 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

华鲁印联 (北京) 科贸有限公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印制

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16³/₄ 字数: 415 千字

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-13068-9
(20441)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

与定风量空调系统相比,变风量空调系统是通过固定送风温度,改变送风量来达到调节空调房间温度的目的的。由于变风量空调系统可以根据室内负荷的变化来改变送风量,在大多数情况下送风量远远小于系统的最大送风量,从而可以降低送风机的转速,减小送风机的能耗,达到节约能耗的目的。研究表明,与定风量空调系统相比,变风量空调系统能够大大降低能耗。因此,在国家大力倡导节能降耗的背景下,对变风量空调系统这一建筑设备中的耗能大户进行研究具有重大的社会意义和经济意义。

作为传统的控制理论,经典控制理论和现代控制理论都要求其控制对象具有精确的数学模型,而变风量空调系统是一个典型的时滞非线性系统,难以建立表征其内部机理的精确的数学模型,因此难以采用经典控制理论和现代控制理论对变风量空调系统进行良好、有效的控制。智能控制将控制理论和人工智能技术灵活地结合起来,其控制方法适应对象的复杂性和不确定性。智能控制是控制理论发展的高级阶段,它主要用来解决那些用传统控制理论难以解决的复杂系统的控制问题。作为智能控制的重要分支,模糊控制无需知道被控对象精确的数学模型,可以将被控对象作为一个“黑箱”来处理,只需根据误差和误差变化,按照模糊控制规则设计合理的模糊控制器,将模糊控制器的输出作为被控对象的输入,就可以对非线性被控对象进行有效的控制。

本书重点介绍了5种模糊控制方法,即模糊控制、自调整模糊控制、模糊PID控制、神经网络模糊预测控制、模糊神经网络控制,将5种模糊控制方法分别应用于变风量空调系统中,对室内温度(回风温度)、送风温度进行了控制研究。

本书第1章是绪论。简要介绍了变风量空调系统的概况和研究意义,介绍了智能控制的产生背景和特点,并对作为智能控制重要分支的模糊控制、神经网络控制、预测控制的特点、发展现状和相关文献进行了评述。

第2章介绍变风量空调系统。介绍了变风量空调系统的基本组成、基本原理和特点,简要介绍了变风量空调系统的几种类型以及在变风量空调系统设计中应该注意的几个问题。

第3章介绍变风量空调系统末端装置。分别介绍了节流型变风量末端装置、风机动力型变风量末端装置、旁通型变风量末端装置以及诱导型变风量末端装置。

第4章介绍变风量空调系统的控制。简要介绍了室内温度控制、新风量控制、室内正压控制和送风温度控制。

第5章介绍模糊控制的理论基础。介绍了作为模糊控制的理论基础——模糊数学的基本知识,包括模糊子集的定义和计算、模糊集合和经典集合的联系、隶属函数、模糊矩阵、模糊关系、模糊关系的合成、模糊向量的笛卡儿乘积、模糊逻辑与模糊推理等内容。

第6章介绍模糊控制理论及其设计方法。介绍了模糊控制的基本结构、基本原理和基本的设计方法;介绍了PID控制器的基本原理和特点;介绍了将模糊控制与PID控制相结

合的模糊-PID 复合控制;介绍了自适应模糊控制的特点和主要类型。

第7章介绍神经网络。介绍了生物神经元和人工神经元模型;介绍了人工神经元常用的输出变换函数及人工神经网络模型、人工神经网络的学习方法和学习算法;介绍了前向反馈(BP)神经网络和径向基函数(Radial Basis Function)神经网络;介绍了反馈神经网络,分别介绍了离散型 Hopfield 神经网络和连续型 Hopfield 网络;介绍了神经网络控制,分别介绍了基于神经网络的非线性系统辨识以及基于神经网络的非线性系统控制。

第8章介绍模糊控制技术在变风量系统中的应用。针对变风量空调实验系统的特点和控制要求,分别设计了室内温度模糊控制系统、送风温度模糊控制系统,并将其应用于变风量空调实验系统中,对变风量空调实验系统的回风温度(室内温度)、送风温度进行了模糊控制。

第9章介绍自调整模糊控制技术在变风量系统中的应用。介绍了带有调整因子的模糊控制器,然后针对变风量空调实验系统的特点和控制要求,设计了一种在全论域范围内带有自调整因子的模糊控制器,并将其应用于变风量空调实验系统中,分别对室内温度、送风温度、室内二氧化碳浓度进行了实时在线控制。

第10章介绍模糊 PID 控制在变风量空调系统中的应用研究。介绍了模糊 PID 控制器控制原理和模糊 PID 参数模糊调整规则,分别设计了变风量空调系统的送风温度、回风温度和新风自整定模糊 PID 控制系统,并将其应用于变风量空调实验系统中,分别同时对变风量空调实验系统的送风温度、回风温度(室内温度)和二氧化碳浓度进行了实时在线控制。

第11章介绍神经网络模糊预测控制在变风量空调系统中的应用。运用 BP 神经网络建立了变风量空调系统的预测模型,采用贝叶斯正则化方法对模型进行了辨识;采用自调整模糊控制器作为优化控制器,提出了一种适用于时变非线性 MIMO 系统的神经网络模糊预测控制算法。最后采用本章提出的控制算法,对变风量空调系统的送风温度、回风温度(室内温度)进行了仿真控制。

第12章介绍基于嵌入式控制器的变风量空调控制系统。以实际的变风量空调实验系统为研究对象,从硬件和软件两个方面介绍了完整的变风量空调控制系统。

第13章介绍模糊神经网络控制在变风量空调系统中的应用。

第14章介绍楼控系统的通信网络架构。

本书第1~10章由刘静纨编写,第11章和第12章由刘静纨、魏东、朱为明编写,第13章由胡玉玲编写,第14章由张少军编写。全书由刘静纨统稿。

本书的编著受到了住房和城乡建设部2009年科技计划项目(项目编号:2009-K1-26)以及北京建筑工程学院2009年博士基金项目(项目编号:100900915)的资助。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2010年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 变风量空调系统发展概况	1
1.2 智能控制	2
1.3 模糊控制	4
1.4 神经网络	6
1.4.1 神经网络的发展概况	6
1.4.2 神经网络	7
1.5 预测控制	9
1.6 本书的主要研究内容及章节安排	10
1.6.1 主要研究内容	10
1.6.2 本书章节安排	11
第 2 章 变风量空调系统	14
2.1 变风量空调系统的基本组成	14
2.2 变风量空调系统的基本原理	15
2.3 变风量空调系统的特点	16
2.4 智能建筑与热舒适性	17
2.4.1 智能建筑	17
2.4.2 热舒适性	19
2.5 空调系统节能	20
2.6 变风量空调系统选择	21
2.6.1 单风道型变风量空调系统	21
2.6.2 风机动力型变风量空调系统	23
2.6.3 组合式单风道型变风量空调系统	24
2.6.4 双风道型变风量空调系统	27
2.6.5 诱导型变风量空调系统	29
2.6.6 变风量空调系统设计中的几个问题	29
第 3 章 变风量空调系统末端装置	33
3.1 节流型变风量末端装置	33
3.2 风机动力型变风量末端装置	35
3.2.1 串联式风机动力型变风量末端装置	36
3.2.2 并联式风机动力型变风量末端装置	37
3.3 旁通型变风量末端装置	38
3.4 诱导型变风量末端装置	38

第4章 变风量空调系统的控制	40
4.1 室内温度控制	40
4.1.1 变风量末端装置控制	40
4.1.2 变风量空调系统送风机控制	41
4.2 新风量控制	44
4.2.1 新风量的确定	44
4.2.2 新风量的测量	45
4.2.3 新风量的控制	46
4.3 室内正压控制	48
4.4 送风温度控制	51
第5章 模糊控制的理论基础	54
5.1 概述	54
5.2 经典集合及其运算	55
5.2.1 集合的概念及定义	55
5.2.2 集合的运算性质	57
5.2.3 关系与映射	57
5.2.4 集合的表示	60
5.3 模糊子集及其运算	61
5.3.1 模糊子集的定义及表示方法	61
5.3.2 模糊子集的运算	63
5.3.3 模糊集合与经典集合的联系	65
5.4 隶属函数	66
5.4.1 隶属函数的确定方法	66
5.4.2 常用的隶属函数	67
5.5 模糊关系与模糊矩阵	74
5.5.1 模糊关系	74
5.5.2 模糊矩阵	76
5.6 模糊向量	79
5.7 模糊语言	80
5.7.1 模糊变量	80
5.7.2 语言变量	81
5.7.3 模糊语言	82
5.7.4 语言值及其四则运算	86
5.7.5 模糊语言变量	88
5.8 模糊逻辑	89
5.8.1 普通命题及其基本逻辑运算	89
5.8.2 模糊逻辑	91
5.9 模糊推理	92
5.9.1 判断与推理	92

5.9.2 模糊推理	93
第 6 章 模糊控制理论及其设计方法	97
6.1 模糊控制的工作原理	98
6.1.1 模糊控制系统的基本结构	98
6.1.2 模糊控制器的基本结构	98
6.1.3 模糊控制系统的工作原理	99
6.2 模糊控制器的设计方法	101
6.2.1 模糊控制器的结构设计	101
6.2.2 模糊控制规则的设计	102
6.2.3 精确量的模糊化	105
6.2.4 模糊控制状态表及模糊关系	107
6.2.5 模糊推理与模糊判决	108
6.2.6 模糊控制查询表及算法流程图	109
6.3 模糊控制与 PID 控制相结合	111
6.3.1 PID 控制	111
6.3.2 模糊控制与 PID 控制相结合	117
6.4 自适应模糊控制	121
6.4.1 自适应控制	121
6.4.2 自适应模糊控制	123
第 7 章 神经网络	127
7.1 生物神经元与人工神经元模型	127
7.1.1 生物神经元	127
7.1.2 人工神经元模型	128
7.1.3 人工神经网络模型	129
7.1.4 神经网络的学习	130
7.2 前向反馈 (BP) 神经网络	132
7.2.1 感知器	133
7.2.2 前向反馈 (BP) 神经网络	134
7.2.3 径向基函数神经网络	139
7.3 反馈神经网络	142
7.3.1 离散型 Hopfield 网络	142
7.3.2 连续型 Hopfield 网络	144
7.4 神经网络控制	146
7.4.1 基于神经网络的非线性系统辨识	146
7.4.2 基于神经网络的非线性系统控制	148
第 8 章 模糊控制技术在变风量空调系统中的应用	152
8.1 变风量空调系统的特点及控制要求	152
8.1.1 变风量空调系统的基本结构	152
8.1.2 变风量空调系统的特点	152

8.1.3	变风量空调系统的控制特点	153
8.1.4	控制目标	153
8.1.5	控制要求	153
8.2	变风量空调系统室内温度模糊控制系统的设计	153
8.2.1	室温模糊控制器的结构设计	153
8.2.2	精确量的模糊化	154
8.2.3	模糊控制规则设计	158
8.2.4	反映控制规则的模糊关系的计算	158
8.2.5	模糊控制查询表的建立	159
8.3	变风量空调系统送风温度模糊控制系统的设计	160
8.4	模糊控制在变风量空调系统中的应用	160
第9章	自调整模糊控制在变风量系统中的应用	162
9.1	带有调整因子的控制规则	162
9.2	模糊控制规则的自调整与自寻优	162
9.3	在全论域范围内带有自调整因子的模糊控制器	163
9.4	变风量空调系统自调整模糊控制系统的设计	164
9.4.1	室内空气品质	164
9.4.2	新风自调整模糊控制器的设计	165
9.4.3	变风量空调系统室内温度、送风温度自调整模糊控制器的设计	166
9.5	变风量空调系统的湿度控制	166
9.5.1	空调除湿技术	166
9.5.2	变风量空调系统的湿度控制	168
9.6	全论域范围内带有自调整因子的模糊控制器在变风量空调系统中的应用	168
第10章	模糊PID控制在变风量空调系统中的应用研究	171
10.1	模糊PID控制器控制原理	171
10.2	模糊PID参数模糊调整规则	172
10.3	变风量空调系统模糊自整定PID控制器的设计	174
10.3.1	模糊语言变量的选取和论域的划分	175
10.3.2	确定各语言论域上的隶属度函数	176
10.3.3	制定模糊控制规则	176
10.3.4	模糊推理及去模糊化	178
10.4	模糊自整定PID控制在变风量空调系统中的应用	178
第11章	神经网络模糊预测控制在变风量空调系统中的应用	181
11.1	基于神经网络的变风量空调系统预测模型的建立	181
11.1.1	正则化方法	182
11.1.2	基于贝叶斯方法的神经网络预测模型辨识	183
11.1.3	神经网络模型结构的确定	186
11.1.4	训练样本数据采集及数据的预处理	187
11.1.5	训练神经网络模型	188

11.1.6 模型辨识结果	188
11.2 神经网络模糊预测控制方法描述	191
11.3 自调整模糊控制器的优化算法描述	192
11.4 神经网络模糊预测优化控制的算法流程	194
11.5 神经网络模糊预测控制在变风量空调系统中的仿真研究	194
第 12 章 基于嵌入式控制器的变风量空调控制系统	198
12.1 控制系统硬件介绍	198
12.1.1 变风量空调控制系统的功能及控制范围	198
12.1.2 控制系统硬件组成	198
12.1.3 传感变送机构与执行机构	200
12.2 控制系统软件设计介绍	200
12.2.1 Windows CE 操作系统和 EVC 开发环境	200
12.2.2 Windows 多线程同步技术	201
12.2.3 数据存储技术应用	203
12.2.4 软件模块图	205
12.2.5 文件存储	206
12.2.6 神经网络预测模型样本数据采集与智能控制结果在线显示界面	206
第 13 章 模糊神经网络控制在变风量空调系统中的应用	208
13.1 模糊神经网络	208
13.1.1 常规模糊神经网络	208
13.1.2 T-S 模糊神经网络	212
13.2 模糊神经网络控制在变风量空调系统中的应用	215
第 14 章 楼控系统的通信网络架构	220
14.1 RS 232 和 RS 485 总线	220
14.1.1 RS 232 总线	220
14.1.2 RS 485 总线	222
14.2 管理层网络	223
14.2.1 IEEE 802.3/4/5 标准的局域网	223
14.3 楼宇自控系统与集散控制系统	225
14.4 控制网络与局域网的区别以及控制网络的选择	226
14.4.1 什么是控制网络	226
14.4.2 控制网络与局域网的区别	227
14.4.3 现场总线技术	227
14.5 LonWorks 现场总线	229
14.5.1 LonWorks 模型分层	229
14.5.2 神经元芯片	230
14.5.3 LonWorks 技术在住宅小区和楼宇自动化系统中的应用举例	231
14.5.4 LonWorks 网络与 Internet 的互联	233
14.5.5 LonWorks 网络与 RS 485 总线的区别	233

目 录

14.6	CAN 总线	234
14.6.1	CAN 总线的特点	235
14.6.2	CAN 总线的基本通信规则和 CAN 总线的分层结构	235
14.6.3	ISO 标准化的 CAN 协议	235
14.6.4	CAN 总线技术在楼宇自控和消防系统中的应用	236
14.7	EIB 总线	237
14.8	基于 InterBus 总线的智能楼宇控制系统	238
14.9	BACnet 网络	239
14.9.1	BACnet 协议概述	239
14.9.2	BACnet 的体系和系统拓扑	240
14.9.3	BACnet 的对象、服务	241
14.9.4	一个典型的 BACtalk 应用系统——BACtalk 系统	243
14.10	使用通透以太网的楼控系统	245
14.11	信息域网络和控制网络组合的部分方式	247
参考文献		250

第1章 绪 论

1.1 变风量空调系统发展概况

随着社会进步与建筑智能化技术的发展,人们对工作生活环境的舒适度、建筑设备的节能及高效运行的要求越来越高,尤其是在一些负荷变化较大的建筑物、多区域控制的建筑物中,传统的定风量空调系统已不能满足要求。在这些应用场合中,需要建立适时个性化调节且能满足分区控制等要求的空调系统,而变风量空调系统是一个理想的选择。

对于全空气空调系统来说,当室内负荷发生变化时,一般可以通过两种途径来维持室内的温度和湿度:一种是固定送风量而改变送风温度的定风量(CAV)系统;另一种是改变送入室内风量的变风量(VAV)系统。VAV空调系统的基本思想是当室内空调负荷改变以及室内空气参数设定值变化时,自动调节空调系统送入房间的送风量,以满足室内人员的舒适要求或工艺生产要求。同时,送风量的自动调节可以最大限度地减少风机的动力,节约运行能耗。VAV空调系统由VAV末端和VAV空调机组两部分组成。其中,VAV末端根据控制区域的负荷变化,通过调节末端风阀的开度或调节加压风机的转速来控制房间的送风量,同时向空调机组控制器反馈VAV末端的工作状态。VAV空调机组需具有风量调节功能,采用VSD(Variable Speed Device)等变速驱动装置,根据各VAV末端的要求来调节风机的总送风量。

变风量空调(Variable Air Volume, VAV)系统在20世纪60年代产生于美国,因其具有舒适性、节能等特点,20世纪70年代石油危机后在欧美及日本得到广泛的应用,20世纪90年代末进入中国并逐步流行。但由于VAV空调系统末端设备结构较为复杂、系统整体性控制要求较高,其在国内的应用受到了一定的限制。但随着技术的发展和节能意识的提高,VAV空调系统逐渐显示出其性能与节能的优势,国内的成功应用案例越来越多,并形成了各种控制策略。因此,深入研究VAV空调系统的控制策略,充分利用现代控制技术,实现VAV空调系统的协调稳定工作和优化运行具有重要意义,将有助于VAV空调系统在国内的进一步推广应用,并能充分发挥其舒适性和节能的优势。

随着人们工作生活环境的不断改善,建筑物能耗越来越大。在建筑物能耗中,暖通空调能耗占60%~70%,所以采用有效的空气调节方式对智能建筑系统节能具有重要意义。

送风量与空调负荷成正比的线性关系使得空调系统所需风量随负荷的减少而减少,而在空调系统运行的绝大部分时间内,空调系统总处于部分负荷状态,达到设计负荷运行状态的时间很少,一般不超过总运行时间的5%。所以与定风量空调系统相比,VAV系统在降低运行能耗方面具有很大的优势。

变风量空调系统具有以下优点:

(1) 由于变风量空调系统是通过调节送入室内的风量来适应负荷的变化,同时在确定

总风量时还可以考虑一定的同时使用情况,所以能够节约风机运行能耗,减小风机装机容量;

(2) 变风量空调系统的灵活性较好,易于改、扩建,尤其适用于格局多变的建筑物;

(3) 变风量空调系统属于全空气系统,它具有全空气系统的优点,可以利用新风消除室内负荷,没有风机盘管的凝水问题和霉变问题。

变风量空调系统是通过改变送风量来达到控制室温的目的,比传统的定风量空调系统节能效果好。但是,由于变风量空调系统是一个强耦合、非线性和参数时变的复杂多变量控制系统,采用传统控制方法易造成控制性能不稳定、达不到预期节能效果等情况出现,因此在我国变风量空调系统的使用率极低。近年来,随着变风量空调系统在世界范围内的日益普及,越来越多的研究人员开始关注变风量系统的控制问题。仿真和实验研究结果表明,变风量空调虽然可以节省能量消耗,但是如果希望达到预期的效能,还需采取自适应鲁棒控制策略。本书针对上述问题研究了变风量空调系统的控制策略,将模糊控制理论应用于变风量空调系统的控制中,采用不同的模糊控制方法对变风量空调系统进行了控制策略的研究、控制算法的设计,并应用不同的模糊控制方法对变风量空调系统进行了仿真研究和实时在线控制。同时,本书将能耗和舒适性作为优化性能指标,采用神经网络模糊预测控制算法对变风量空调系统进行了仿真控制研究,使变风量空调系统在满足室内人员舒适性要求的同时,还能达到能耗最小的目的。

1.2 智能控制

传统控制方法包括经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论主要解决单输入单输出问题,主要采用传递函数、频率特性、根轨迹为基础的频域分析方法,所研究的系统大多是线性定常系统,对非线性系统,分析时采用的相平面法一般也不超过两个变量。经典控制理论能够较好地解决生产过程中的单输入单输出问题。以状态变量为基础的现代控制理论对于解决线性或非线性、定常或时变的多输入多输出系统的控制问题,获得了广泛而成功的应用。但是,无论采用经典控制理论还是现代控制理论设计的控制系统,都需要事先知道被控对象(或过程)精确的数学模型,然后根据数学模型以及给定的性能指标,选择适当的控制规律进行控制系统设计。然而,在许多情况下,被控对象的精确数学模型很难建立,这样一来,对于这类对象或过程就很难应用经典控制理论或现代控制理论进行控制。传统控制方法在实际应用中遇到很多难以解决的问题,主要表现在以下几点^[14,15]:

(1) 实际系统由于存在复杂性、非线性、时变性、不确定性和不完全性等,无法获得精确的数学模型;

(2) 某些复杂的和包含不确定性的控制过程无法用传统的数学模型来描述,即无法解决建模问题;

(3) 针对实际系统往往需要进行一些比较苛刻的线性化假设,而这些假设往往与实际系统不相符合;

(4) 实际系统任务复杂,而传统的控制任务要求低,对复杂的控制任务无能为力。

在生产实践中,复杂控制问题可以通过熟练操作人员的经验和控制理论相结合去解决,由此产生了智能控制。智能控制将控制理论和人工智能技术灵活地结合起来,其控制

方法适应对象的复杂性和不确定性。

智能控制是控制理论发展的高级阶段,它主要用来解决那些用传统控制理论难以解决的复杂系统的控制问题。智能控制的研究对象具备以下一些特点^[16,17]:

(1) 不确定性的模型。智能控制适合于不确定性对象的控制,其不确定性包含两层意思:一是模型未知或知之甚少;二是模型的结构或参数可能在很大范围内变化。

(2) 高度的非线性。采用智能控制方法可以较好地解决非线性系统的控制问题。

(3) 复杂的任务要求。例如,智能机器人要求控制系统对一个复杂的任务具有自行规划和决策的能力,有自动躲避障碍运动到期望目标位置的能力。

所谓智能控制,即设计一个控制器(或系统),使之具有学习、抽象、推理、决策等功能,并能根据环境(包括被控对象或过程)信息的变化作出适应性反应,从而实现由人来完成的任务。智能控制的几个重要分支为专家控制、模糊控制、神经网络控制和遗传算法。

智能控制系统是一种实现某种控制任务的多层次结构的智能系统,如图1-1所示。图中广义控制对象表示通常意义下的控制对象和所处的外部环境;感知信息处理环节将传感器发送的信息加以处理,并在学习过程中不断进行辨识、整理和更新,以获得有用的信息;认知环节通过接收和存储知识、经验和数据,并进行分析处理,从而做出决策送至规划与控制策略环节;作为整个智能控制系统的核心,规划与控制策略环节根据给定任务要求、反馈信息及经验知识,进行自动搜索、推理决策、动作规划,最终产生具体的控制作用,并通过控制器和执行机构对控制对象进行控制。

智能控制的概念是针对被控系统的复杂性和不确定性而提出来的。智能控制系统应该具有学习、记忆和大范围的自适应和自组织能力,能够及时适应不断变化的环境,有效地处理各种信息,以减小不确定性,能够以安全和可靠的方式进行规划、生产和执行控制动作而达到预定的目标和良好的性能指标。

智能控制系统具有以下特性:

(1) 智能控制系统具有较强的学习能力。系统应该具有对一个未知环境提供的信息进行识别、记忆、学习,并利用积累的知识和经验进一步优化、改进和提高自身性能的能力。智能控制系统的学习功能主要包括对控制对象参数的学习、对知识的更新与遗忘等。

(2) 智能控制系统具有较强的自适应能力。系统应该具有适应被控对象动力学特性变化、环境变化和运行条件变化的能力,这实质上是一种从输入到输出之间的映射关系。当系统的输入不是学习样本时,系统也能给出合适的输出。

(3) 智能控制系统具有较强的容错能力。系统对各类故障应该具有自诊断、屏蔽和自恢复能力。

(4) 智能控制系统具有较强的鲁棒性。系统性能对环境干扰和不确定性因素不敏感。

(5) 智能控制系统具有较强的组织功能。系统对于复杂任务和分散的传感信息具有自

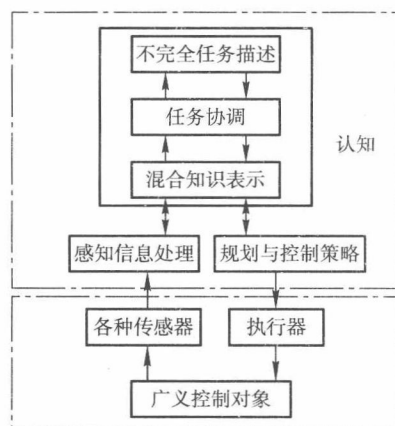


图 1-1 智能控制系统结构图

行组织和协调的功能,具有主动性和灵活性。智能控制器可以在任务要求的范围内自行决策,主动采取行动,使系统能够满足多目标、高标准的要求。

(6) 智能控制系统具有良好的实时性。系统具有较强的在线实时响应能力。

智能控制系统一般包括分级递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、学习控制系统等。在实际应用中,几种方法往往结合在一起,用于一个实际的智能控制系统,从而建立起混合或集成的智能控制系统。

分级递阶控制系统按照智能程度的高低,由组织级、协调级和执行级组成。组织级是分级递阶控制系统的最高级,它通过人机接口和用户进行交互,执行最高决策的控制功能,监视并指导协调级和执行级的所有行为;协调级在组织级和执行级之间起连接作用,它的主要任务是协调各控制器的控制作用或协调各子系统执行,是分级递阶控制系统的次高级;执行级是分级递阶控制系统的最低级,它的控制过程通常是执行一个确定的动作。

专家控制是智能控制的重要分支。专家系统主要是指一个智能计算机程序系统,其内部含有大量的某个领域专家水平的知识与经验,能够利用人类专家的知识和解决问题的经验方法来处理该领域的高水平难题。专家系统具有启发性、透明性、灵活性、符号操作、不确定性推理等特点。应用专家系统的概念和技术,模拟人类专家的控制知识与经验而建造的系统,称为专家控制系统。专家控制系统作为一个人工智能和控制理论的交叉学科,也是智能控制理论的一个分支,它将人类某领域专家的经验知识与控制算法相结合,将知识模型和数学模型相结合,将符号推理与数值运算相结合,将知识信息处理技术与控制技术相结合,在未知环境下,仿效专家的智能,实现对系统的控制。但是,专家控制系统在知识获取、知识表达和推理方式上存在着诸如知识来源主要依靠专家经验、知识“瓶颈”等固有的缺陷,使得专家控制系统在工程应用上受到限制。而模糊控制和神经网络控制则在一定程度上避开了这个问题,并且它们的信息表达方式和推理方式更符合人的思维特点。

1.3 模糊控制

以往的各种传统控制方法均是建立在被控对象精确数学模型的基础上,然而随着系统复杂程度的提高,将难以建立系统的精确数学模型。在工程实践中,人们发现一个复杂的控制系统可以由一个操作人员凭着丰富的实践经验得到满意的控制效果。这说明,如果模拟人脑的思维方法设计控制器,可以实现复杂系统的控制,由此便产生了模糊控制。1965年,美国加州大学自动控制系统 L. A. Zedeh 提出模糊集合理论,奠定了模糊控制的基础。L. A. Zedeh 教授提出的模糊集合理论,其核心是对复杂的系统或过程建立一种语言分析的数学模式,使自然语言能直接转化为计算机所能接受的算法语言。由于人的手动控制策略是通过操作者的长期实践经验积累而成的,它可通过人的自然语言加以叙述,将它们总结成一系列条件语句,即控制规则。这种控制属于一种语言控制,运用计算机来实现这些控制规则,计算机就起到了控制器的作用。然而,人的自然语言又具有模糊性,而传统控制方法恰恰无法处理这种模糊性。故这种语言控制又称为模糊语言控制,简称模糊控制。模糊集合和模糊逻辑的出现实时地解决了描述控制规则的条件语句,用模糊集合来描述模糊条件语句,组成了所谓的模糊控制器。这样,作为模糊数学一个重要分支的模糊控制理论

便应运而生。

与传统的控制技术相比较,模糊控制具有以下特点^[18,19]:

(1) 不需要在设计系统时建立被控对象的精确数学模型。模糊控制系统是一种基于规则的控制,它直接采用语言型控制规则,出发点是现场操作人员的控制经验或相关专家的知识。它是一种近似推理的控制,具有人类思维的若干特点,能够根据一系列的模糊知识和数据推导出符合实际逻辑关系的结论,不需要系统精确的数学模型。因此,特别适合于系统复杂、难于或根本无法建立数学模型、人工操作经验有效的非线性、时变及纯滞后系统的控制。

(2) 适应性强。模糊控制中的知识表示、模糊规则和推理是基于专家知识或熟练操作者的成熟经验,并通过学习可不断更新,增强控制系统的适应能力。研究表明,对于确定的过程对象,用模糊控制与用 PID 控制的效果相当,但是对于非线性和时变等不确定系统,模糊控制却有较好的控制作用,同时对于非线性、噪声和纯滞后有较强的抑制能力,传统控制在这方面往往显得无能为力。

(3) 鲁棒性强。由于模糊控制采用的不是二值逻辑,而是一种连续多值逻辑,所以当系统参数变化时,能比较容易实现稳定的控制,尤其适合于非线性、时变、滞后系统的控制。

(4) 系统的规则和参数整定方便。只要通过对现场的工业过程进行定性的分析,就能较好地建立语言变量的控制规则和系统的控制参数,并且参数的适用范围较广。

(5) 结构简单。系统的软硬件实现都比较方便。

模糊控制技术作为智能控制的重要分支之一,它的最大特点是针对各类具有非线性、强耦合、不确定性、时变的多变量复杂系统,在各个控制领域中得到广泛应用,并取得了良好的控制效果。最早取得应用成果的是在 1974 年,由英国伦敦大学 E. H. Mamdani 教授首先利用模糊语句组成的模糊控制器,应用于锅炉与汽轮机的运行控制,在实验室中获得成功。它不仅把模糊理论首先应用于控制,并且充分展示了模糊控制技术的应用前景。

自 20 世纪 80 年代后期开始,模糊控制进入了实用化阶段,并且其应用技术逐渐趋向成熟,应用面也逐渐扩展,以日本、美国等尤为突出。模糊控制已由早期的以大型机械设备和连续生产过程为主要对象,扩展到大众化机电产品,并且向复杂大系统、智能系统、人与社会系统以及生态系统等纵深方向拓展。

席爱民总结了模糊控制理论的研究成果,介绍了近几年在模糊模型辨识建模、模糊函数逼近器理论与分析、模糊控制器结构、合成推理规则与分层模糊推理等方面的研究成果,介绍了包括与解耦、预测、变结构等先进控制理论相集成的模糊控制器、与神经网络相集成的模糊-神经网络控制器等,介绍了模糊控制各个领域的应用实例与研究成果^[20]。王军采用带模糊积分器的多变量模糊解耦控制技术,对耦合强烈的四维传递函数矩阵进行解耦,通过计算机自动控制系统仿真,取得了较好的解耦效果^[21],该技术可以应用到变风量空调系统的解耦控制中。李峰等以变风量空调房间为研究对象,采用模糊控制与 PID 控制相结合,构成模糊自整定 PID 控制器,利用模糊控制器在线调整 PID 控制器的参数,进行计算机仿真,仿真结果显示控制效果比传统的 PID 控制好^[22]。陈艳平等提出了变风量空调系统中的室温控制方案,针对控制对象的大惯性、大时延特点,采用了串级控制策略;针对对象的非线性、不确定性,主控器采用了一种新的模糊自整定 PID

参数的方式,经仿真验证具有良好的动、静态特性,特别是在鲁棒性方面大大优于常规的PID控制器^[23]。蒋林等基于多采样率数字控制技术,讨论了非线性连续被控对象的模糊控制器的设计问题,给出了优化数字控制器的设计方法,计算机仿真表明了设计方法的有效性^[24]。朱万民等提出了一种新型模糊PID控制方法,设计了相应的模糊控制器,并以中央空调为控制对象进行了仿真实验,取得了较好的控制效果^[25]。唐锐等提出了一种基于BP神经网络的模糊PID控制算法,仿真实例表明采用该算法能够较好地实现PID控制参数在线调整和优化^[26]。

纵观模糊控制在变风量空调系统中的应用研究,大都停留在仿真阶段,模糊控制在变风量空调系统中应用研究的实时控制是目前的一个研究热点。

1.4 神经网络

1.4.1 神经网络的发展概况

对神经网络的研究始于20世纪40年代,以1943年美国心理学家McCulloch与数学家Pitts合作提出形式神经元的MP模型为代表,开创了对神经网络的理论研究。心理学家D. O. Hebb 1949年出版了《行为组织》一书,提出神经元之间突触联系强度可变的假设,并提出神经元权值修改方案的Hebb学习准则,为神经网络的学习算法奠定了基础。1957年,美国计算机学家F. Rosenblatt提出了著名的感知器模型,它是一个具有三层网络的结构,连续可调权值矢量的MP神经网络模型,经过训练可以达到对一定输入矢量模式进行识别的目的。1962年,美国工程师B. Widrow和M. Hoff提出了自适应线性元件神经网络模型,该模型是感知器的变化形式,尤其在权矢量的算法上进行了改进,提高了训练收敛速度和精度,成功地应用于自适应信号处理和雷达天线控制等连续可调过程,成为第一个用于解决实际问题的人工神经网络。20世纪70年代,神经网络研究处于低谷,美国著名人工智能专家M. Minsky和S. Papert在《感知器》一书中指出感知机的缺陷,说明简单的神经网络只能运用于线性分类和求解,不能实现XOR逻辑函数问题和解决非线性分类等复杂问题。美国在此后15年里从未资助神经网络研究课题,原苏联有关机构也终止了对神经网络研究课题的资助。在这种情况下,专家们不得不放弃对神经网络的研究,使研究工作的发展进入了低谷,所以神经网络控制理论和控制方法的研究在这一阶段没有再发展。但是在这一阶段,仍然有不少研究工作者坚持神经网络领域的研究。美国波士顿大学自适应中心的Grossberg和Carpenter从生理学角度研究,提出了著名的自适应共振理论模型(ART),指出如果在全部神经元中有一个节点特别兴奋,其周围的神经元将受到抑制。1972年,芬兰的Kohonen提出的自组织映射模型是一种无导师学习网络,并逐步形成现在的无导师学习算法。同一时期,日本学者Fukushima研究了视觉与人脑的空间和时间的人工神经系统,提出了神经认知网络理论以及认识机能方面的模型。Rumelhart、McClelland及其PDP研究小组提出了BP理论以及误差的反向传播原理。这些研究为以后的神经网络研究的复苏提供了很好的理论基础。进入20世纪80年代后,神经网络的研究开始复兴,并很快达到新的高潮。1982年,美国物理学家Hopfield提出了一种递归网络——Hopfield网络模型,首次引入了能量函数的概念,使网络稳定性的研究有了明确的判据。随后,