

“十一五”重点规划教材
高等学校自动化系列教材



智能控制技术

张铭钧 / 主编



TP273/499

2008

智能控制技术

张铭钧 主 编
赵 刚 副主编
孟庆鑫 王立权 主 审

哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书讨论智能控制的基本原理及其应用。简述了智能控制的产生及发展、智能控制系统的基本构成,比较详细和系统地介绍了模糊控制理论基础及模糊控制、人工神经网络模型及神经网络控制、专家系统与专家控制和集成智能控制系统。着重讲解了各控制系统的作用机理、类型结构、设计要求、控制特性和应用示例。本书侧重于介绍智能控制的基本原理、设计实现及工程应用。同时也简单介绍了智能控制的最新研究进展及展望。

本书可作为机械电子工程、机械制造及自动化、船舶与海洋工程结构设计制造等相关学科的博士、硕士研究生的教材或教学参考书,也可作为机械类高年级本科生的教学参考书,可供从事智能控制系统研究、设计和应用的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制技术/张铭钧主编. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2008.4

ISBN 978-7-81133-229-2

I. 智… II. 张… III. 智能控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 038532 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 黑龙江省教育厅印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 11
字 数 231 千字
版 次 2008 年 4 月第 1 版
印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷
定 价 25.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

控制理论发展至今已有 100 多年的历史,经历了“经典控制理论”和“现代控制理论”的发展阶段,已进入“大系统理论”和“智能控制理论”阶段。智能控制理论的研究和应用是现代控制理论在深度和广度上的拓展。20 世纪 80 年代以来,信息技术、计算技术的快速发展及其他相关学科的发展和相互渗透,也推动了控制科学与工程研究的不断深入,控制系统向智能控制系统的发展已成为一种趋势。

自 1971 年傅京孙教授提出“智能控制”概念以来,智能控制已经从二元论(人工智能和控制论)发展到四元论(人工智能、模糊集理论、运筹学和控制论),在取得丰硕研究和应用成果的同时,智能控制理论也得到不断的发展和完善。智能控制是多学科交叉的学科,它的发展得益于人工智能、认知科学、模糊集理论和生物控制论等许多学科的发展,同时也促进了相关学科的发展。智能控制也是发展较快的新兴学科,尽管其理论体系还远没有经典控制理论那样成熟和完善,但智能控制理论和应用研究所取得的成果显示出其旺盛的生命力,受到相关研究和工程技术人员的关注。随着科学技术的发展,智能控制的应用领域将不断拓展,理论和技术也必将得到不断的发展和完善。

本书介绍智能控制的基本概念、原理、方法、技术和应用。比较详细地阐述了模糊控制、神经网络控制、专家系统控制及集成智能控制系统的作用机理、类型结构、控制特性、设计要求与方法、应用示例,对不同的控制系统,阐述的重点和方法也有所区别。在本书的最后,讨论了智能控制应用研究中存在的问题及智能控制技术的发展趋势。

作为教材及教学参考书并兼顾到相关工程技术人员的学习和参考,本书力求能反映出智能控制技术研究的最新成果,在内容的先进性、科学性和实用性方面做到有机结合。在内容选择、讲授的系统性和逻辑性方面考虑研究生的学习特点,力求做到取材新颖、逻辑严谨、系统性强。

本书由张铭钧主编、赵刚副主编,其中,第 1 章、第 4 章、第 5 章由张铭钧编写,第 2 章和第 3 章由赵刚编写,全书由张铭钧统稿并整理。由孟庆鑫教授、王立权教授主审。

在本书撰写过程中,作者学习、参考了许多学者的论著,在此对书后所列参考文献的编著者致以诚挚的谢意。本书引用了本研究室博、硕士研究生的研究成果,在此也表示诚挚的谢意。

本书内容涉及面广且内容新,再加上编者学识有限,书中难免会有疏漏甚至错误,敬请读者指正。

编 者

2008 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 智能控制的产生及发展	1
1.2 智能控制系统的基本构成	2
1.3 智能控制系统的特点与分类	4
1.4 智能控制的学科基础	5
第 2 章 模糊控制	7
2.1 引言	7
2.2 模糊控制数学基础	10
2.3 模糊控制技术基础	35
2.4 模糊控制器设计	45
2.5 模糊 PID 控制	53
2.6 模糊控制器设计举例	58
小结	61
习题	62
第 3 章 神经网络控制	65
3.1 引言	65
3.2 神经网络结构与学习规则	68
3.3 多层前向网络与 BP 学习算法	75
3.4 动态神经网络模型	83
3.5 非线性系统神经网络辨识	87
3.6 神经网络控制器	91
3.7 神经网络自适应控制	98
3.8 基于神经网络的水下机器人预测控制	102
小结	108
习题	109
第 4 章 专家控制	111
4.1 引言	111
4.2 专家系统与专家控制系统的概念与特征	111

4.3	专家控制的知识表示与推理	116
4.4	直接专家控制系统	119
4.5	间接专家控制系统	125
4.6	专家控制应用	127
4.7	实时专家智能控制系统简介	131
	小结	134
	习题	135
第5章	集成智能控制系统	136
5.1	引言	136
5.2	模糊神经网络控制	137
5.3	神经网络专家系统	154
5.4	其他智能控制简介	157
5.5	智能控制技术展望	165
	小结	168
	习题	169
	参考文献	170

第 1 章 绪 论

1.1 智能控制的产生及发展

自 1932 年奈魁斯特(H. Nyquist)的有关反馈放大器稳定性论文发表以来,控制理论的发展已走过了 60 多年的历程。一般认为,前 30 年是经典控制理论的发展和成熟阶段,后 30 年是现代控制理论的形成和发展阶段。随着研究的对象和系统越来越复杂,借助于数学模型描述和分析的传统控制理论已难以解决复杂系统的控制问题。智能控制是针对控制对象及其环境、目标和任务的不确定性和复杂性而产生和发展起来的。

从 20 世纪 60 年代起,计算机技术和人工智能技术迅速发展,为了提高控制系统的自学习能力,控制界学者开始将人工智能技术应用于控制系统。

1965 年,美籍华裔科学家傅京孙教授首先把人工智能的启发式推理规则用于学习控制系统,1966 年, Mendel 进一步在空间飞行器的学习控制系统中应用了人工智能技术,并提出了“人工智能控制”的概念。1967 年, Leondes 和 Mendel 首先正式使用“智能控制”一词。

20 世纪 70 年代初,傅京孙、Gloriso 和 Saridis 等学者从控制论角度总结了人工智能技术与自适应、自组织、自学习控制的关系,提出了智能控制就是人工智能技术与控制理论的交叉的思想,并创立了人机交互式分级递阶智能控制的系统结构。

20 世纪 70 年代中期,以模糊集合论为基础,智能控制在规则控制研究上取得了重要进展。1974 年, Mamdani 提出了基于模糊语言描述控制规则的模糊控制器,将模糊集和模糊语言逻辑用于工业过程控制,之后又成功地研制出自组织模糊控制器,使得模糊控制器的智能化水平有了较大提高。模糊控制的形成和发展,以及与人工智能的相互渗透,对智能控制理论的形成起了十分重要的推动作用。

20 世纪 80 年代,专家系统技术的逐渐成熟及计算机技术的迅速发展,使得智能控制和决策的研究也取得了较大进展。1986 年, K. J. Astrom 发表的著名论文《专家控制》中,将人工智能中的专家系统技术引入控制系统,组成了另一种类型的智能控制系统——专家控制。目前,专家控制方法已有许多成功应用的实例。

20 世纪 80 年代中后期,人工神经网络的研究取得了重要进展,1982 年, Hopfield 提出了 HNN 模型,解决了回归网络的学习问题。1986 年 PDP 小组提出了多层前向传播神经网络的 BP

学习算法,实现了有导师指导下的网络学习,为神经网络的应用开辟了广阔的前景,对神经网络理论和应用的研究以及智能控制的研究起到了重要的促进作用。

20世纪90年代以来,智能控制的研究非常活跃。从高技术的航天飞机推力矢量的分级智能控制、空间资源处理设备的高自主控制,到智能故障诊断及控制重新组合,从轧刚机、汽车喷油系统的神经控制到家电产品的神经模糊控制等等各方面,智能控制研究不断深入,应用领域不断拓展,理论研究特别是应用研究方面取得了丰硕的研究成果。

在国际学术交流方面,1985年8月,IEEE在美国纽约召开了第一届智能控制学术讨论会,此后不久,在IEEE控制系统学会内成立了IEEE智能控制专业委员会。1987年1月,在美国费城由IEEE控制系统学会和计算机学会联合召开了智能控制国际会议,这是有关智能控制的第一次国际会议,之后,一些国际学术组织,如IFAC、IFIP、IMACS和IASTED等,定期或不定期地举办各类有关智能控制的国际学术会议或研讨会。

近年来,我国智能控制理论与应用的研究取得了可喜进展。在模糊控制、仿人智能控制等方面已形成自己的研究特色。1993年在北京召开了首届“全球华人智能控制与智能自动化大会”,2004年在杭州召开了第五届“全球智能控制与自动化大会”。

智能控制作为一门新兴学科还处于发展时期。可以预见,随着系统理论、人工智能和计算机技术的发展,智能控制必将会有更大的发展并在实际中获得更广泛的应用。

1.2 智能控制系统的基本构成

1.2.1 智能控制的概念

智能控制尚处于发展阶段,目前对智能控制还没有明确和一致的定义。从智能控制系统的共性来说,智能控制系统应具有以下三个功能。

1. 学习功能

对过程或其环境的特征进行学习,并将得到的经验用于进一步估计、分类、决策或控制,从而使系统的性能得以改善。

2. 适应功能

系统输入输出的映射关系,可以看成是不依赖于模型的自适应估计,具有很好的适应性。即使是在系统的某一部分出现故障时,系统也能正常工作。

3. 组织功能

对复杂的任务和分散传感信息具有自行组织和协调的功能。其行为表现为系统具有相应的主动性和灵活性,即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,当出现多目标冲突时,各控制器在一定限制条件下可自行解决。

根据智能控制系统应具有的功能,本书对智能控制给出如下定义:

一种控制方式或一个控制系统,如果它能够有效地克服被控对象和环境所具有的高度复杂性和不确定性,并且能够达到所期望的目标,那么称这种控制方式为智能控制,称这样的控制系统为智能控制系统。

1.2.2 智能控制系统的基本结构

智能控制系统的基本结构如图 1-1 所示。其中,“广义对象”包括通常意义下的控制对象和外部环境。如智能机器人系统中,机器人的手臂、被操作物体及所处环境统称广义对象。“传感器”包括关节位置传感器、力传感器、视觉传感器、距离传感器、触觉传感器等。“信息感知与处理”将传感器得到的原始信息加以处理,如视觉信息要经过复杂的处理,才能获得有用的信息。“认知”主要用来接收和储存信息、知识、经验和数据,并对它们进行分析、推理,作出行动的决策,送至规划与控制部分。“规划与控制”是整个系统的核心,它根据给定的任务要求、反馈的信息以及经验知识,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,经“执行器”作用于控制对象。对于不同的智能控制系统,以上各部分的形式和功能可能存在较大的差异。

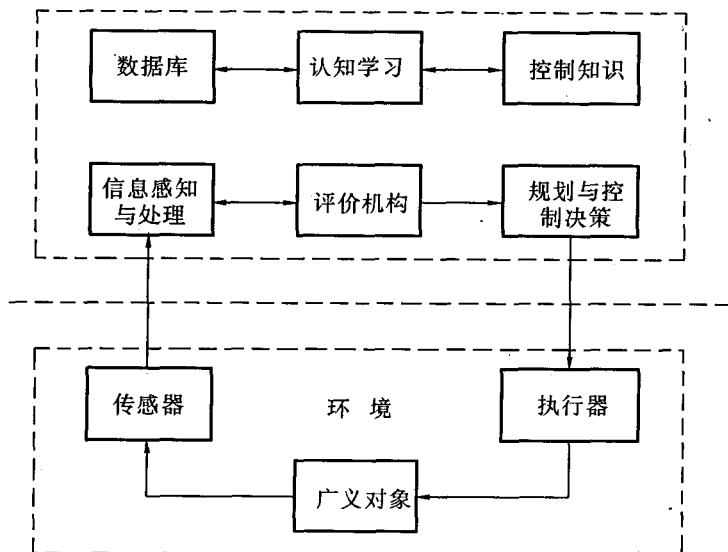


图 1-1 智能控制系统的结构

1.2.3 递阶智能控制结构

智能控制对象一般都比较复杂,从智能控制系统的功能模块结构观点出发,Saridis 提出了分层递阶结构的智能控制系统,其组成结构如图 1-2 所示。

三级递阶结构自上而下分别是组织级、协调级和执行级。

组织级是智能控制系统的最高智能级,其功能为推理、规划、决策和长期记忆信息的交换,以及通过外界环境信息和下级反馈信息进行学习等。实际上组织级也可以认为是知识处理和管理,其主要步骤是由论域构成,按照组织级中的顺序定义决定动作序列。

协调级是作组织级和执行级之间的接口,其功能为根据组织级提供的指令信息进行任务协调。协调级将组织信息分配到下面的执行级,它基于短期存储器完成子任务协调、学习和决策,为控制级指定结束条件和罚函数并反馈给组织级。

执行级是系统的最低一级,一般由多个硬件控制器构成,要求具有很高的精度,其理论方法为传统的控制理论。

分层递阶智能控制系统具有以下两个特点:

- (1) 对控制而言,自上而下控制的精度愈来愈高;
- (2) 对识别而言,自下而上信息反馈愈来愈粗略,相应的智能程度也愈来愈高。

分层递阶的结构形式已成功地应用于机器人的智能控制、交通系统的智能控制及管理。

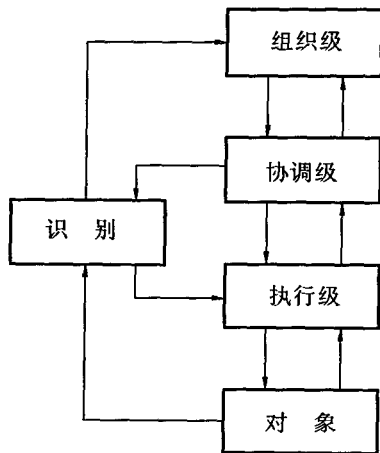


图 1-2 智能控制系统的分层递阶结构

1.3 智能控制系统的特点与分类

1.3.1 智能控制系统的优点

智能控制系统具有以下特点。

(1) 智能控制系统一般具有以知识表示的非数学广义模型和以数学模型表示的混合控制过程。它适用于含有复杂性、模糊性、不确定性和不存在已知算法的控制问题。

在研究和设计智能控制系统时,并不把主要注意力放在对数学公式的表达、计算和处理上,而放在对任务和世界模型的描述、符号和环境的识别,以及知识库和推理机的设计开发上。

也就是说,智能控制系统的设计重点不在常规控制器上,而在智能机模型上。

(2) 智能控制器具有分层信息处理和决策机构。它实际上是对人神经结构和专家决策机构的一种模仿。

智能控制的核心是高层控制,即组织级。它对环境或过程进行组织、决策和规划,实现广义求解。要实现此任务需要采用符号信息处理、启发式程序设计、知识表示及自动推理和决策的相关技术。低层控制级也是智能控制系统不可缺少的组成部分,它属于常规控制范畴。

(3) 智能控制器具有非线性和变结构特点。

(4) 智能控制系统是一门新兴的边缘交叉学科,目前智能控制无论在理论上还是在实践上都很不成熟、很不完善,需要进一步研究和探索。

1.3.2 智能控制系统的分类

智能控制系统的类型很多,可以归纳为以下十种类型:

- (1) 多级递阶智能控制;
- (2) 基于知识的专家控制;
- (3) 基于模糊逻辑的智能控制——模糊控制;
- (4) 基于神经网络的智能控制——神经控制;
- (5) 基于规则的仿人智能控制;
- (6) 基于模式识别的智能控制;
- (7) 多模变结构智能控制;
- (8) 学习控制和自学习控制;
- (9) 基于可拓逻辑的智能控制——可拓控制;
- (10) 基于混沌理论的智能控制——混沌控制。

上述许多智能控制方法可以与传统控制方法,如PID控制、自适应控制、自校正控制、预测控制等多种形式相结合,形成多种新的控制方式。

1.4 智能控制的学科基础

智能控制是控制理论发展的高级阶段,是以众多新兴学科为基础建立和发展起来的。

智能控制的基本出发点是模拟人的智能实现对复杂不确定性系统进行有效的控制。从复杂开放系统的角度来看,智能控制与人工智能等学科一样是思维科学的应用科学。因此,作为思维科学的基础科学——思维学是研究智能控制理论与系统的重要认识论基础。智能控制系统是以知识为基础的系统,因此以研究知识表示、利用和获取为中心内容的知识工程是研究智能控制的重要基础。

智能控制的本质特征在于它的智能性。要模拟人的智能,就是模拟人的思维形式。因此,模拟人类模糊逻辑思维的模糊集合论、模拟人的大脑神经系统的结构和功能的神经网络理论,以及模拟人的感知行动的进化论等,已成为研究智能控制理论的新学科基础的组成部分。

智能控制主要用于复杂非线性、时变、不确定性系统的控制,这种非线性系统又与传统的非线性系统不完全相同,主要区别体现在智能水平上。需要从新的角度和新的高度去探索解决问题的途径。研究复杂系统的智能控制须从复杂开放系统的角度出发,研究复杂的智能控制系统中子系统间的相互协同作用,研究系统状态从无序到有序的自组织过程,通过不断调整控制策略控制参数,使系统状态从一种状态(稳定的或不稳定的)变化到(甚至包括突变)另一种期望的稳定状态。因此,耗散结构论、协同论和突变论,以及混沌动力学等非线性科学是研究智能控制系统的重要理论基础。

智能控制是一门交叉学科,傅京孙教授称它是人工智能与自动控制的交叉学科。对于具体的智能控制系统,如专家系统控制、模糊控制等仍然是多学科的交叉,只是它们所涵盖的学科不尽相同。

智能控制是一门新兴学科,还没有形成一个统一和完整的理论体系。智能控制的创立和发展是与多种新兴学科、多种先进技术的发展进步密不可分的,随着社会的发展和科学技术的进步,智能控制的理论体系也将逐步形成并不断完善。

第 2 章 模糊控制

2.1 引言

2.1.1 模糊控制的产生与发展

传统控制方法一般是以被控对象的精确数学模型为基础的,随着系统复杂程度的提高往往难以建立系统的精确数学模型以满足实时控制的要求。人们期望探索出一种简便灵活地描述手段和处理方法,并为此进行了各种尝试,结果发现一个复杂的传统控制理论难以实现的控制系统,却可由一个操作人员凭着丰富的实践经验得到满意的控制结果。这样的控制系统既避免了那种精密、反复、有错误倾向的模型建立过程,又避免了精密地估计模型方程中各种参数的过程。模糊控制就是这样一种模拟人的思维方式,把自然语言植入计算机内核,使计算机具有活性和智能的智能控制方法。

模糊控制是以模糊集合论作为它的数学基础的。它的诞生是以 L. A. Zadeh 1965 年提出的模糊集理论为标记的。L. A. Zadeh 把经典集合与多值逻辑融为一体,创立模糊集合理论,开辟了解决模糊问题的科学途径。

1965 年 L. A. Zadeh 在他的论著《Fuzzy Sets》、《Fuzzy Algorithm》和《Fuzzy Rationale for Fuzzy Control》中,首先提出了模糊数学和模糊控制的概念。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,使人的自然语言直接转化为计算机所能接受的算法语言。模糊集合理论的诞生,为处理客观上存在的一类模糊性问题,提供了有力的工具,同时,也适应了自适应科学发展的急迫需要。正是在这种背景下,作为模糊数学的一个重要应用分支的模糊控制理论便应运而生了。

自从 L. A. Zadeh 1965 年发表首篇模糊集合理论的论文以来,模糊理论和模糊控制开始了它的艰难历程。L. A. Zadeh 曾说过,如果他不是 Information and Control 杂志的编委,他的模糊集合理论的论文就不可能发表,可见,当时模糊理论的困境。当时学者反对模糊集合理论主要有两个理由,一是认为模糊隶属度函数的确定具有主观臆断性;二是认为模糊逻辑实际上是概率理论的翻版。由于存在权威人士的反,模糊理论的发展相当缓慢,模糊理论的研究着重在模糊控制上。

自从 E. H. Mamdani 教授 1974 年首次成功地将模糊理论用于锅炉和蒸汽机的控制,开创了模糊控制的先河,之后,模糊控制理论的应用研究在 20 世纪 70 年代的欧洲取得了一些成功,推动了模糊控制理论的研究,同时模糊理论也不断地得到人们的认识和重视。在 20 世纪 80 年代后期,模糊控制理论进入了发展期,近十多年来模糊控制发展相当迅速,并取得了很多理论和应用研究的成果。

在学术交流方面,1972 年日本东京大学发起成立“模糊系统研究会”,1974 年在美国加里弗尼亚大学举行了“模糊集合及其应用”国际学术交流会。1978 年《Fuzzy Sets and Systems》杂志开始发行。1984 年,国际模糊系统学会(IFSA - International Fuzzy System Association)成立,1985 年在西班牙召开了首届 IFSA 国际学术会议。从 1992 年开始,《IEEE Fuzzy Systems》国际会议每年举办一次,《IEEE Trans. On Fuzzy Systems》于 1993 年开始出版。

2.1.2 模糊控制的概念与特点

1. 模糊控制的定义

模糊控制是建立在人工经验基础上的。对于一个熟练的操作人员,他并非需要了解被控对象的精确数学模型,而是凭借其丰富的实践经验,采用适当的对策来巧妙地控制一个复杂的过程。若能把这些熟练操作人员的实践经验加以总结和描述,并以语言表达出来,它就是一种定性的、不精确的控制规则。如果用模糊数学将其定量化转化为模糊控制算法,从而形成了模糊控制理论。

模糊控制的定义可以描述如下:模糊控制器的输出是通过观察过程的状态和一些如何控制过程的规则的推理得到的。模糊逻辑控制器的定义主要是基于以下三个概念。

(1) 测量信息的模糊化

将实测物理量转化为在语言变量相应论域内不同语言值的模糊子集。

(2) 推理机制

使用数据库和规则库,根据当前的系统状态信息来决定模糊控制的输出子集。

(3) 输出模糊集的精确化

将推理机制得到的模糊控制量转化为一个清晰、确定的输出控制量的过程。

一个典型的模糊控制系统结构如图 2 - 1 所示。

2. 模糊控制器的主要研究内容

模糊控制技术在实际应用中的主要研究内容如下。

(1) 模糊控制器的构造

在模糊控制器的构造上,目前主要有三种技术:

① 以计算机为物理基础,编制相应的软件实现模糊推理和控制;

② 用模糊单片机和集成电路芯片构造模糊控制器,利用配置数据来确定模糊控制器的结构形式;

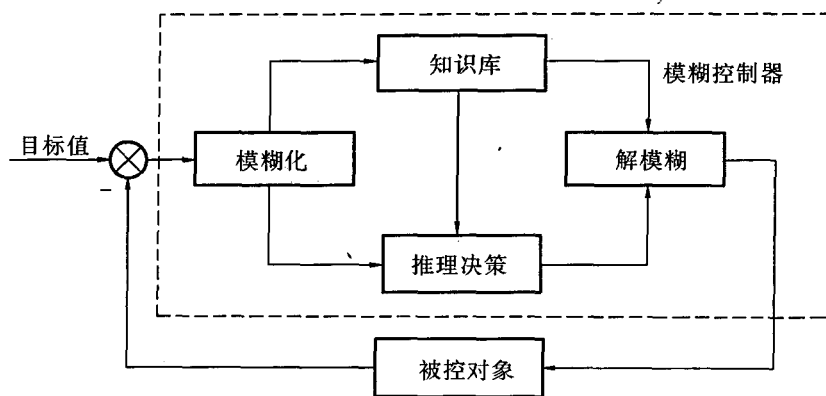


图 2-1 模糊控制系统结构示意图

③ 采用可编程门阵列构造模糊控制器,主要是构造控制表,需要预先脱机处理。

(2) 模糊信息和精确信息相互转换的方法

一般采用的是 A/D、D/A 转化技术。

(3) 模糊控制器对外部环境的适应性

(4) 模糊控制系统的软件技术

主要包括系统的仿真和实际工作软件等,目前已有仿真软件,如 Neuralogix 公司的产品。

3. 模糊控制器的特点

模糊控制与传统控制相比有如下特点。

(1) 无需建立被控对象的数学模型

模糊控制是以人对被控系统的控制经验为依据而设计的控制器,故无需知道被控系统的精确数学模型。

(2) 模糊控制系统构造容易

与传统的控制方法相比,模糊控制依赖于行为规则库,用自然语言表达规则,模拟人类的思维过程,接近人类的推理习惯,便于理解和使用。用单片机来构造模糊控制系统,其结构与一般的数字控制系统差不多,模糊控制算法用软件实现也比较容易。

(3) 鲁棒性好

用模糊控制更能容忍噪声干扰和元器件的变化,使系统适应性更好,无论被控对象是线性的还是非线性的,模糊控制系统都具有良好的鲁棒性和适应性。

2.1.3 模糊控制展望

随着计算机技术、大规模集成电路技术、工艺技术的进步,模糊控制技术也在不断地发展

和成熟。但是,模糊控制毕竟是一门新兴学科,仍有许多问题有待研究和解决。

模糊控制的发展趋势可归为以下三个方面。

1. 模糊计算机

模糊计算机研究与开发的具体内容包括:模糊计算机硬件体系结构、操作系统以及语言理解等。能够处理模糊信息的模糊逻辑电路已于1984年由日本研制成功,这意味着模糊控制理论开始深入到硬件技术之中。目前,国内已生产出能够设计出几十条控制规则的通用模糊微型机,这种硬件系统的实现将带来模糊控制系统的新飞跃,即由目前结构:“检测——比较——计算——执行”发展到新的结构:“识别——推理——决策——执行”。控制系统的输入、输出除了数据信息外,还可以包括文字符号、图像、语言等符号信息。

2. 模糊控制理论体系的完善和突破

在以下几个方面有待进一步研究:

- (1) 人类知识和经验的获取与表达;
- (2) 模糊化及解模糊化方法;
- (3) 模糊推理;
- (4) 控制系统稳定性;
- (5) 模糊控制系统的分析和设计;

(6) 在模糊运算中,似乎丢失了大量的信息,却又能获得优于常规控制的良好控制效果,起控制作用的因素是什么?模糊运算中的信息损失是否应设法修正或补偿?

研究自然语言的描述,知识的获取与知识的处理,综合使用人类的知识,模拟人的思维过程的合情推理与发现思维,将会大大地促进模糊控制理论的发展与提高。

3. “模糊”、“神经网络”和“混沌”相结合的控制技术

“模糊逻辑”、“神经网络”和“混沌理论”的结合是智能控制技术的一个发展方向,作为新兴学科还没有形成完善的理论体系,复合控制技术的不断发展和完善,将具有很大的发展潜力。

2.2 模糊控制数学基础

2.2.1 模糊集合及隶属度函数

1. 模糊集合的概念

在讨论模糊集合论以前,我们先简单回顾一下经典集合论。

所谓集合是指具有某种特定属性的对象的全体。这里对象的含义是广泛的,它可以是具体的事物,也可以是抽象的概念。

集合中的个体称为元素,通常用小写字母如 u 表示;而集合的全体又称为论域,通常用大写字母如 U 表示; $u \in U$,表示元素 u 在集合论域 U 内。一个集合 U 如果是由有限个元素组成,则称为有限集合。不是有限集合的集合称为无限集合。集合既可以是连续的也可以是离散的。

在经典集合论中,任何一个元素与任何一个集合之间的关系只有“属于”和“不属于”两种情况,两者必居其一,而且只居其一。经典集合描述的是有明确分界线的元素的组合。在处理清晰、确定性问题时具有严密性和精确性。然而,用经典集合无法处理模糊性概念。在人的思维中,每个概念都有一定的内涵和外延,概念的形成总是要以集合论为依托。内涵是集合的定义,外延是组成集合的所有元素。经典集合的内涵和外延均是明确的。如“男人”和“女人”这样一对集合是有明确分界线的。然而,在现实世界中,有很多事物的分类边界是不分明的,或者说是难以明确划分的。如“速度快慢”和“温度高低”等模糊概念没有明确的外延。

通过上述的分析我们可以知道,模糊概念无法用经典集合论来描述。那么,如何描述一个模糊概念?模糊集合提供了一种描述模糊概念的途径。

模糊集合定义如下:

设 U 为集合(可能是离散的也可能是连续的),用 $\{\mu\}$ 表示, U 称为论域, μ 表示论域的元素,论域 U 中的模糊集 A 用隶属函数 μ_A 来表示,即

$$\mu_A: U \rightarrow [0,1]$$

μ_A 称为模糊集 A 的隶属函数。 $\mu_A(u)$ 称为 u 对 A 的隶属度,表示论域中的元素 u 属于其模糊子集 A 的程度。它在 $[0,1]$ 闭区间内可连续取值。

$\mu_A(u) = 1$,表示 u 完全属于 A ;

$\mu_A(u) = 0$,表示 u 完全不属于 A ;

$0 < \mu_A(u) < 1$;表示 u 部分属于 A 。

论域 U 中的模糊集 A 可以用元素 u 和它的隶属度来表示

$$F = \{(u, \mu_A(u)) \mid u \in U\}$$

上述定义表明:

① 论域 U 中的元素是分明的,即 U 本身是普通集合,只是 U 的子集是模糊集合,故称 A 为 U 的模糊子集,简称模糊集。

② 隶属函数 $\mu_A(u)$ 是用来说明 u 隶属于 A 的程度的, $\mu_A(u)$ 的值越接近于 1,表示 u 隶属于 A 的程度越高;当 $\mu_A(u)$ 的值域变为 $\{0,1\}$ 时,隶属函数 $\mu_A(u)$ 蜕化为普通集合的特征函数,模糊集合也就蜕化为普通集合。

③ 模糊集合完全由其隶属函数来刻画。隶属函数是模糊数学的最基本概念,借助于它才能对模糊集合进行量化。

普通集合表达的是内涵和外延均为明确的清晰概念。它只能表达“非此即彼”的概念,而不能表达“亦此亦彼”的现象。因此,描述普通集合的特征函数只能取 0 和 1 两个值。