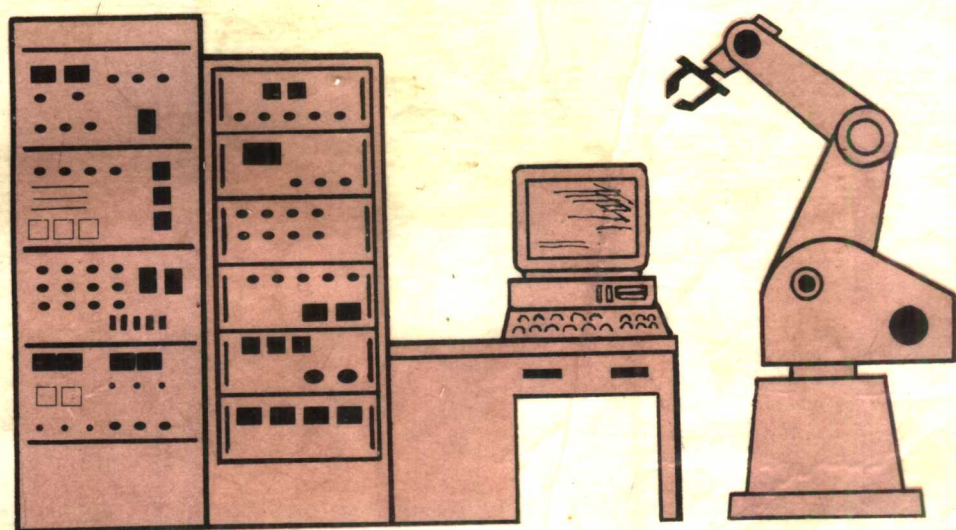


哈尔滨工业大学研究生教材

FUZZY CONTROL AND
INTELLIGENT CONTROL
THEORY AND APPLICATIONS



李士勇 等编著

模糊控制和智能控制 理论与应用

哈尔滨工业大学出版社

模糊控制和智能控制理论与应用

李士勇 夏承光 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了近十多年来发展起来的模糊控制和智能控制的基本理论及其应用实例。全书共十四章，内容包括：模糊数学基础；模糊控制原理，模糊控制器设计，模糊系统辨识与模糊预测，自适应模糊控制，人工智能，专家系统与知识工程的基本原理；智能控制的基本理论及系统，多级递阶智能控制，专家控制，仿人智能控制，自寻优模糊智能控制，学习控制与自学习控制，神经网络控制。本书综合国内外大量文献，并将作者的科研成果融汇其中，内容深入浅出，便于自学与应用。

本书可作为高等工科院校控制类和计算机应用等专业研究生或高年级本科生教材，亦可供有关科技人员阅读参考。

模糊控制和智能控制理论与应用

李士勇 等编著

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张 25.375 字数 540000

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

印数1—4000

ISBN 7-5603-0280-7/TP·20 定价 5.30元

研究生教材出版说明

研究生教材建设是一个长期而艰巨的任务。它不仅关系到研究生的培养质量，还关系到教师的研究成果能否系统地总结出来。因此，我们鼓励、支持和组织多年从事研究生教学、有着丰富教学和科学研究经验的教师参加研究生教材的编写工作，以促进研究生教材建设的发展，让那些学术水平较高而且急需的教材得以及时出版。

研究生教材的取材，首先着眼于当代新技术和新理论的发展，反映国内外的最新学术动态，使研究生学习之后能迅速接近当代科技发展的前沿，以适应现代化建设的需要；同时，又应该考虑到研究生必须掌握坚实的基础理论和系统知识，要求各课程教材应具有最基本的和最稳定的内容，使得研究生教材有足够的深度和广度。

研究生教材的选题、编写、编辑出版等各方面工作，虽然经过认真评审和细致的定稿工作，但就整体来看，这项工作尚属起步阶段，经验不足，缺点和错误在所难免，渴望各方面专家、学者和读者提出意见，使其不断改进和完善。

哈尔滨工业大学研究生院
哈尔滨工业大学出版社

前 言

近半个世纪以来,自动控制理论经历了经典控制理论和现代控制理论两个重要发展阶段。传统控制理论的一个显著特点是单纯依靠纯数学解析的方法,然而,现代系统的复杂性、测量的不准确性及系统动力学的不确定性,常常使得传统的控制理论显得无能为力。

1965年,美国控制论专家扎德(L.A.Zadeh)创立了模糊集合论,为描述、研究和处理模糊性现象提供了新的数学工具。1974年,英国的马丹尼(E.H.Mamdani)把模糊语言逻辑用于控制并获得成功,标志着模糊控制的诞生。近十多年来,模糊控制领域一系列出乎意料的成功,使人们坚信用语言方法综合系统的巨大潜力。

国际上享有盛誉的控制理论权威,瑞典的K.J.Åström最近指出:控制论是维纳在研究动物(包括人)和机器内部的通讯与控制时创立的,当时提出了许多概念,目前,这一领域似乎又回到了发现新概念的时代。

事实上,在科学技术如此发达的今天,人的作用是不可忽视的重要因素。迄今为止,世界上最高级、最有效的控制器还是人类自身,因为人具有处理模糊信息和直觉推理等多种智能。随着计算机科学、人工智能科学和控制理论的发展及其相互交叉结合,新一代控制理论——智能控制理论诞生了。智能控制理论研究的最终目的是制造能够代替人的智能机器,实现其目标的自动控制。所以说,智能控制象征着自动控制的未来,是自动控制学科发展中的又一次新的飞跃。

我国著名控制论专家宋健指出:世界科技正进入一个新的时期——信息时代,或智能自动化时期。为了迎接智能自动化时代的到来,广大科技工作者迫切需要学习掌握模糊控制和智能控制的理论与方法,为满足这一社会需要,我们组织编写了本教材。

本书分为四篇共十四章:第一篇(一至三章),模糊数学基础,包括模糊集合及其运算,模糊矩阵与模糊关系,模糊逻辑与模糊语言;第二篇(四至九章),模糊自动控制理论,包括模糊自动控制原理,模糊控制器设计的基本方法,模糊控制规则的自调整与自寻优,模糊系统辨识与模糊预测,自适应模糊控制原理,模糊控制的理论分析初步;第三篇(十至十二章),人工智能和智能控制理论,包括智能控制的理论基础——专家系统与知识工程,智能控制与智能控制系统;第四篇(十三至十四章),模糊控制和智能控制的工程应用。

本书第十二、十四章由李士勇、夏承光编写,其余各章均由李士勇编写。

北京航空航天大学高为炳教授对本教材提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。书中部分内容引用了国内外专家、学者的某些研究成果,在此仅向他们致谢。

由于作者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

1990年9月于哈尔滨

绪 论

目前,自动控制技术已经渗透到人类生产、建设和社会生活的许多方面,如通信卫星的精确定位、导弹准确地命中目标、人类成功的登月活动、生产加工的自动线、计算机控制的生产过程等等都离不开自动控制技术。而各种精巧奇妙的自动控制装置和系统,正不断地开拓着人类物质文明和精神文明的新境界。

1. 自动控制理论的产生

自动控制理论作为一门科学,它的产生可追溯到十八世纪中叶英国的第一次技术革命。1765年,瓦特(Jams Wate, 1736~1819)发明了蒸汽机,进而应用离心式飞锤调速器原理控制蒸汽机,标志着人类以蒸汽为动力的机械化时代的开始。后来,工程界用自动控制理论讨论调速系统的稳定性问题。1868年发表的“关于调节器”一文中指出,控制系统的品质可用微分方程来描述,系统的稳定性可用特征方程根的位置和形式来研究。1872年劳斯(E.J.Routh, 1831~1907)和1890年赫尔维茨(Hurwitz)先后找到了系统稳定性的代数判据,即系统特征方程根具有负实部的充分必要条件。1892年俄国学者李雅普诺夫(A.M.Ляпунов, 1857~1918)发表了“论运动稳定性的一般问题”的博士论文,提出了用适当的能量函数——李雅普诺夫函数的正定性及其导数的负定性来鉴别系统的稳定性准则,从而总结和发展了系统的经典时域分析法。

随着通讯及信息处理技术的迅速发展,电气工程师们发展了以实验为基础的频率响应分析法,1932年美国贝尔实验室工程师奈奎斯特(H. Nyquist)发表了反馈放大器稳定性的著名论文,给出了系统稳定性的奈奎斯特判据。后来,苏联学者米哈依洛夫(A.B.Михайлов)又把奈奎斯特判据推广到条件稳定和开环不稳定系统的一般情况。

在二次大战期间,由于军事上需要,雷达及火力控制系统有较大发展,频率法被推广到离散系统、随机过程和非线性系统中。美国著名的控制论创始人维纳(N. Wiener, 1894~1964)系统地总结了前人的成果,1948年发表了“控制论——或关于在动物和机器中控制和通讯的科学”著作,书中论述了控制理论的一般方法,推广了反馈的概念,为控制理论这门学科的产生奠定了基础。

2. 控制理论发展历史的回顾

随着生产的发展,控制技术也在不断地发展。尤其是计算机的更新换代,更加推动了控制理论不断地向前发展。控制理论的发展过程一般可分为三个阶段:

第一阶段 时间为本世纪40~60年代,称为“古典控制理论”时期。古典控制理论主要是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。所研究的系统多半是线性定常系统,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。古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。

这一时期的主要代表人物有伯德 (H.W.Bode, 1905~) 和伊文思 (W.R.Evans)。伯德于1945年提出了简便而实用的伯德图法。1948年, 伊文思提出了直观而又形象的根轨迹法。

第二阶段 时间为本世纪60~70年代, 称为“现代控制理论”时期。这个时期, 由于计算机的飞速发展, 推动了空间技术的发展。古典控制理论中的高阶常微分方程可转化为一阶微分方程组; 用以描述系统的动态过程, 即所谓状态空间法。这种方法可以解决多输入多输出问题。系统既可以是线性的、定常的, 也可以是非线性的、时变的。

这一时期的主要代表人物有庞特里亚金 (Л.С.Понтрягин)、贝尔曼 (Bellman) 及卡尔曼 (R.E.Kalman, 1930~) 等人。庞特里亚金于1961年发表了极大值原理; 贝尔曼在1957年提出了动态规划; 1959年, 卡尔曼和布西发表了关于线性滤波器和估计器的论文, 即所谓著名的卡尔曼滤波。

70年代初, 瑞典的奥斯特隆姆 (K.J.Aström) 和法国的朗道 (I.D.Landau) 教授在自适应控制理论和应用方面做出了贡献。

第三阶段 时间为本世纪70年代末至今。70年代末, 控制理论向着“大系统理论”和“智能控制”方向发展, 前者是控制理论在广度上的开拓, 后者是控制理论在深度上的挖掘。“大系统理论”是用控制和信息的观点, 研究各种大系统的结构方案、总体设计中的分解方法和协调等问题的技术基础理论。而“智能控制”是研究与模拟人类智能活动及其控制与信息传递过程的规律, 研制具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统。

目前, 人工智能中一个广为重视的问题就是用自然语言进行人机对话的研究, 而初步应用的典型智能控制系统就是智能机器人。随着社会和生产的发展, 控制理论也在不断发展和完善, 随着自动控制技术和计算机技术的迅速发展, 人们不仅从繁重的体力劳动中解放出来, 而且也不断地从复杂的脑力劳动中“解脱”出来。已经深入到家庭生活中的机器人的出现, 就是一个有力的说明。

回顾控制理论的发展历程可以看出: 它的发展过程反映了人类由机械化时代进入电气化时代, 并走向自动化、信息化时代的步伐。

3. 模糊数学的诞生及其应用

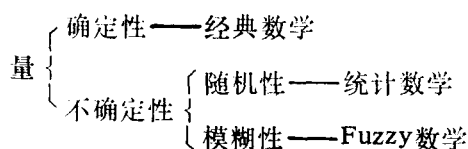
模糊数学又称Fuzzy数学。“模糊”二字译自英文“Fuzzy”一词, 该词除有模糊意思外, 还有“不分明”等含意。有人主张音义兼顾译为“乏晰”等。在此将Fuzzy译为模糊, 或直接采用原文。

众所周知, 数学已经成为各门科学的基础, 其应用范围广至社会的各个领域。随着科学研究的不断深入, 研究的对象越来越复杂, 变量越来越多, 要求对系统的控制精度越来越高, 而复杂的系统是难以精确化的, 这样, 复杂性与精确性就形成了十分尖锐的矛盾。科技工作者在实践中总结出了“不兼容原理”, 即: 当一个系统复杂性增大时, 我们使它精确化的能力将减小, 在达到一定阈值 (即限度) 之上时, 复杂性和精确性将

相互排斥。具体一点说，一个系统的复杂性与分析它能达到的精度之间服从一个粗略的反比关系。这一原理指出，高精度与高复杂性是不兼容的。

解决精确性与复杂性的矛盾，我们还得从电子计算机入手。现代电子计算机的计算速度及存贮能力几乎达到了无与伦比的程度，它不仅可以解决复杂的数学问题，还可以参与控制宇宙飞船等。既然计算机有如此威力，那么为什么在判断和推理方面有时不如人脑呢？美国加利福尼亚大学扎德（L.A.Zadeh, 1921~）教授仔细地研究了这个问题，以致使他在科研工作中经常回旋于“人脑思维”、“大系统”与“计算机”的矛盾之中。他发现德国人Cantor创立的古典集合论中的集合概念必须进行推广，这样有利于用数学模型来描述某些现象中的模糊性。1965年，Zadeh教授发表了《模糊集合论》论文，提出用“隶属函数”这个概念来描述现象差异的中间过渡，从而突破了古典集合论中属于或不属于的绝对关系。Zadeh教授这一开创性的工作，标志着数学的一个新的分支——模糊数学的诞生。

模糊数学产生后，客观事物质的确定性和不确定性在量的方面的表现，可做如下划分：



这里须指出，~~随机性和模糊性~~尽管都是对事物不确定性的描述，但二者是有区别的。概率论研究和处理随机现象，所研究的事件本身有着明确的含意，只是由于条件不充分，使得在条件与事件之间不能出现决定性的因果关系，这种在事件的出现与否上表现出的不确定性称为随机性。在 $[0, 1]$ 上取值的概率分布函数就描述了这种随机性。

模糊数学是研究和处理模糊现象的，所研究的事物的概念本身是模糊的，即一个对象是否符合这个概念难以确定，这种由于概念的外延的模糊而造成的不确定性称为模糊性（fuzziness）。在 $[0, 1]$ 上取值的隶属函数就描述了这种模糊性。

下面举个例子说明随机性与模糊性之间的差异，如“明天的气温是 39°C 的概率为0.9”，其中0.9是描述出现“ 39°C ”的随机性。而“明天高温可能性是0.9”，这里的0.9是描述明天的气温属于“高温”这个模糊概念的程度，即描述“高温”的模糊性。

虽然随机性与模糊性两者是有区别的，但是在某些事物内部，随机性与模糊性是共存的。例如，“七月下旬的最高温度大约是 38°C ”，这里所说的“大约”是对高温的一种不确定性的描述，即描述了“高温”的模糊性；同时，它又是对出现 38°C 的一种不确定性——随机性的描述。

模糊数学从1965年诞生至今已经二十五年了，刚诞生的几年间进展相当缓慢，进入70年代后，模糊集合的概念被越来越多的人所接受，这方面的研究工作迅速发展起来。英国学者Gaines和Kohout搜集了一千多篇文献（至1976年6月），仅就其中的763篇文献进行了分类，其中有自动控制方面46篇，模式识别55篇，自动机65篇，学习系统和人工智能22篇，系统理论11篇，详见表1〔2〕。至1976年6月各年度发表文献的情况见表2。目前，世界上已有三十多个国家先后开展模糊数学及其应用方面的研究工作，无论是投

入的人数，还是发表论文的数量都在以指数形式递增。

在1976~1983年间，我国在国内杂志上发表的有关模糊数学及其应用方面的文章就多达547篇^[1]。

表 1 模糊集合论文统计表

领 域	篇 数	领 域	篇 数	领 域	篇 数
自动机	65	形式逻辑	32	生 物 学	10
模式识别	55	拓扑学	29	格 论	10
社会科学	49	心理学	27	推 论	8
语言学	49	模糊度理论	24	对 策 论	7
自动控制	46	集合论	23	反论分析	7
概率论	45	学习机、人工智能	22	公差容限	4
判 定	45	信息检索	18	半 环	3
多值逻辑	38	分类理论	15	测 度	1
开关逻辑	36	医学科学	13	真 值	1
形式语言	32	系统理论	11	模态逻辑	1

表 2 论文总数统计表

年 代	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
论 文 (篇)	2	6	10	22	44	69	111
年 代	1972	1973	1974	1975	1976	1980	1984
论 文 (篇)	169	257	395	620	约890	1500	约4000~ 8000

控制论的创始人维纳在谈到人胜过任何最完善的机器时说：“人具有运用模糊概念的能力”。人脑的重要特点之一，就是能对模糊事物进行识别和判决。如何让计算机能够模拟人脑思维的模糊性的特点，使部分自然语言作为算法语言直接进入计算机程序，让计算机完成更复杂的任务，这正是模糊数学产生的直接背景。

模糊数学在理论上还处于不断发展和完善之中，它的应用也日益广泛。它在聚类分析、图象识别、自动控制、故障诊断、系统评价、机器人、人工智能等多方面得到了应用。

进入 80 年代，模糊数学的发展更有加速的趋势。1984年成立了国际模糊系统协会 (IFSA)，1985年举行了第一届IFSA 大会。我国在1983年成立了自己的模糊数学与模糊系统学会。在模糊数学方面，我国与国际水平差距不大，中国与美、法、日被公认为模糊数学四强。

从1984年召开的第一届模糊信息处理国际会议可以看出，模糊数学将成为信息革命中不可缺少的重要工具，美、日、法、英等国已经将模糊集合理论用于第五代计算机，并使其和信息革命的要求密切结合起来。

4. 模糊控制的发展概况

自从美国控制论专家 Zadeh 创立了模糊数学以来,许多学者对模糊语言变量及其在控制中的应用进行了探索和研究。1973年,Zadeh 给出了模糊逻辑控制器的定义和定理,为模糊控制奠定了基础。1974年,英国的 E.H.Mamdani 首先利用模糊控制语句组成模糊控制器,并把它用于锅炉和蒸汽机的控制,在实验室中获得成功。这一开拓性的工作,标志着模糊控制论的诞生。

1975年,英国的 King 及 Mamdani 利用模糊控制器控制一个反应炉搅拌池的温度。1976年,荷兰学者 Kickert 等人通过模糊控制器解决了热交换过程中非线性、干扰、非对称增益特性和时滞的控制问题,收到了最佳 PI 控制的效果。同年,丹麦学者 Østergaard 利用模糊控制器对双输入双输出的热交换过程进行控制,该过程的特点是有很强的交叉耦合。与此同时,英国钢铁公司一工厂用模糊控制器对烧结工厂原料渗透率进行控制,比人工控制偏差减少了 40%。

1976年,英国学者 Tong 对压力容器内部的压力和液面进行模糊控制,控制的难点在于非线性、强耦合以及时间常数相差太大,而用模糊控制收到了较好的效果。此后,Tong 发表了多篇模糊控制理论方面的文章,对于模糊控制的发展起了促进作用。

1977年,英国的 Pappis 等采用模糊控制,对十字路口的交通管理进行试验,使得平均等待时间减少 7%。后来,加拿大及日本等国也有很多成功的实例。

1979年,英国的 I.J.Procyk 和 E.H.Mamdani 研究一种自组织的模糊控制器,这种控制器在控制过程中能不断地修改和调整控制规则,使控制系统的性能不断完善。这如同人们在控制过程中不断了解和掌握控制规律的过程,因此它属于人工智能的范畴。自组织模糊控制器的出现,标志着模糊控制器由低级向高级阶段发展的开始。自组织模糊控制器已经在一定程度上具有了“智能”,因此它属于“智能控制器”的范畴。

1979年,丹麦 F.L.SMIDTH 公司研制的模糊逻辑计算机协调控制系统投入运行;1982年又研制成功 NO 分析器和上述系统配套使用,实现了湿法水泥窑的模糊控制。水泥工业自动化的特点是模糊性大,操作人员的估价和参与起着重要作用,因此采用古典控制和现代控制都难于实现,而采用模糊控制收到了较理想的效果。其特点是鲁棒性强,在过程和相关性显著变化的条件下仍能很好地进行控制。丹麦的这一系统已作为商品投放市场。1983年,日本学者 Shuta Murakami 研究成功一种基于语言真值推理的模糊逻辑控制器,成功地用于汽车速度的自动控制。

从1979年开始,我国也开展了模糊控制理论及其应用方面的研究工作。1979年,北京控制工程研究所李宝绶、刘志俊应用模糊集合论设计出一类典型的模糊控制器,并对用模糊理论测辨系统的模型进行了研究。1980年,北师大汪培庄和上海铁道学院楼世博首先提出了模糊控制器的可响应性的概念。1981年,李宝绶对模糊动力系统进行了分析。在这期间,中国科技大学陈国权对模糊调节器算法进行了研究,北方交通大学宋大鹤对模糊控制器的数学模型和算法进行了分析。华中工学院邓聚龙研究了模糊控制的稳定性问题,后来他又对模糊量化控制律的某些代数特征进行了分析研究。中国科学院自动化所应行仁采用最大隶属度决策方法,对模糊逻辑控制器进行了分析和仿真。清华大学郑

维敏等(1982)应用模糊集理论设计了模型参考自适应系统,提出了一种模糊算法来解决自适应机构的设计问题。航天医学工程研究所龙升照等(1982)提出了模糊控制规则的自调整问题。在此基础上,武汉工学院李东辉(1986)、合肥工业大学姚敏等(1989)又推广和发展了这项工作,为模糊控制系统的参数自寻优提供了新途径。北京工业大学涂象初与北京师范大学汪培庄(1985)提出了自寻优Fuzzy-PID调节器与人工智能控制问题,为研究复合型模糊控制提供了新方法。中国纺织大学邵世煌等(1987)对自组织模糊控制器进行了仿真研究。中国科技大学张德颂等(1987)提出基于模糊规则的自学习控制算法。华东化工学院殷实等(1988)对模糊控制器的本质进行了探讨。东北工学院王金章等(1988)、北京石化公司顾祥柏(1988)对多变量模糊解耦控制进行了研究。昆明工学院徐承伟等(1987~1989)在理论上对模糊关系系统的反馈解耦、控制,动态系统模型辨识及自学习等方面进行了研究,并取得了一定的理论成果。

近五年来,国内在工业过程控制中,尤其是在工业炉、窑的控制中应用模糊控制取得了不少成果。河北省科学院自动化研究所安建民等设计的可锻铸铁退火炉温度模糊自寻优控制系统1985年12月通过鉴定。湖南大学罗安等(1986)把模糊自适应控制成功地用于气炼机控制系统。重庆电子技术研究所华晓鸣设计的电弧冶炼炉的模糊控制系统1986年4月投入运行,并于同年10月通过化工部组织的鉴定。北京轻工业学院胡家耀等设计的燃油退火炉燃烧过程的模糊控制系统已于1987年投入运行,取得了满意的控制效果。哈尔滨工业大学近年来在造纸过程和水泥窑的控制系统中应用模糊控制取得了一定的理论和应用成果。

从以上介绍的部分有代表性的研究情况来看,模糊控制的理论研究和推广应用工作在我国已经有了一个良好的开端。

5. 智能控制的崛起

近半个世纪以来,世界科学技术领域中发展最快的两大部门被认为是计算机技术和自动化技术,自1946年第一台电子计算机 ENIAC 诞生以来,计算机在硬件方面已经经历了电子管、晶体管、IC和 LSI 的发展阶段,目前第五代计算机的研究正在日本等国展开。第五代计算机又称智能机,它的主要目标是实现知识信息处理、延伸人类智能,知识信息处理系统实际上是人工智能的应用。所谓人工智能,就是利用计算机来模仿人的智能的学科,它的近期目标在于研究智能计算机及其系统,以模拟和执行人类的某些智能,如判断、理解、推理、识别、规划、学习和问题求解等。

人工智能的发展促进了自动化技术的分支学科——自动控制理论向着当今控制的最高层——智能控制方向发展。智能控制和具有智能化的自动化是人工智能的一个有广泛应用前景的研究领域。

智能控制是高级自动化系统的主要控制方式,它有以下两个特点:一是智能控制系统以知识为基础进行推理,用启发式来引导求解过程;二是对实际环境或过程进行决策和规划,采用符号信息处理、启发式程序设计、知识表示和自动推理与决策等相关技术,实现广义的问题求解。

人类在改造自然方面创造了无数惊人的奇迹,与载人飞船登上月球、航天飞机返回

地面和把原子中蕴藏的巨大能量释放出来的成就相比，人类对自己本身的认识和控制显得太肤浅了。现代科学已揭示出人体是一个具有高度自组织、自适应、自调节能力的生命有机体，是一个具有非线性、时变和随机、模糊性的复杂的特大系统。40年代，美国数学家维纳和生理学家 Rosenbluth 以及一些物理学家等在多学科的跨学科的讨论活动中，认识到这些科学上的“处女地”正是最有希望取得收获的地方。在此基础上，维纳抓住了一切通讯和控制系统共同具有的特点，站在一个更概括的理论高度、综合各个领域的经验和理论，并且把这些系统的控制机制和现代生物学所发现的生物机体中的某些控制机制加以类比，创立了控制论这门学科。四十年来，控制理论经历了从确定性反馈控制→最优控制→随机控制→自适应控制→自组织（自学习）控制这样一个发展过程，近十年来，正在向智能控制方向发展。

众所周知，在日益复杂的被控对象（过程）面前，传统的基于精确模型的控制系统设计理论（包括古典控制理论及现代控制理论）受到了严峻挑战，人们从生物体本身具有高度适应性、组织结构的灵活性以及积累经验和学习机能方面受到启发，于是，60年代中期，一些学者在研究自组织、自学习控制的基础上，开始注意把人工智能技术引入控制系统，以提高系统的自学习能力。70年代初，美国国家工程科学院士付京孙、Gloriso和 Saridis 等人从控制论的角度总结了人工智能技术与自适应、自学习、自组织控制的关系，正式提出建立智能控制理论的设想，指出了智能控制就是人工智能技术与控制理论的交叉。

70年代末至今的十年间，智能控制的理论和应用受到了国内外控制界的极大重视，智能控制从诞生至今还只有十多年的历史，虽然已取得了一些可喜的进展，但尚未形成完整的、系统的理论体系。

目前，包括我国在内的一些国家正从事自组织系统及其有关神经元模型、感觉器官模型、脑模型等内容研究，以期给信息处理和实现智能控制带来更多的启示。可以满怀信心地说，随着人工智能科学的发展、智能计算机的研制开发以及生物控制论的日臻完善，智能控制必将获得蓬勃的发展，把自动化技术推向一个崭新的阶段。



作者简介

李士勇, 1943年生, 1967年毕业于哈尔滨工业大学工业自动化专业, 1983年在该校自动控制专业研究生毕业, 获硕士学位, 现任哈尔滨工业大学控制工程系副教授。

近年来, 主要从事研究生的“模糊控制”、“随机智能控制”等课程的教学工作和模糊控制、智能控制理论与应用的科研工作, 取得5项科研成果, 其中两项获航空航天工业部科技进步二等奖。在国际国内发表学术论文近30篇, 参加了《自然科学学科辞典》的编写工作。目前主要研究模糊控制和智能控制理论及其在工业过程控制和高技术领域中的应用。

目 录

绪 论	(I)
-----	-------

第一篇 模糊数学基础

第一章 模糊集合及其运算

§ 1.1 经典集合及其运算	(1)
1.1.1 集合的概念及定义	(1)
1.1.2 集合的直积	(2)
1.1.3 映射与关系	(3)
1.1.4 集合的运算性质	(3)
1.1.5 集合的表示及特征函数	(4)
§ 1.2 模糊集合及其运算	(5)
1.2.1 模糊子集的定义及表示	(5)
1.2.2 模糊子集的运算	(8)
§ 1.3 模糊集合与经典集合的联系	(12)
1.3.1 截集	(12)
1.3.2 分解定理	(12)
1.3.3 扩张原则	(14)
§ 1.4 隶属函数	(14)
1.4.1 隶属函数的确定方法	(14)
1.4.2 常用的隶属函数	(18)

第二章 模糊矩阵与模糊关系

§ 2.1 模糊矩阵	(30)
2.1.1 模糊矩阵的定义及其运算	(30)
2.1.2 模糊矩阵的截矩阵	(32)
2.1.3 模糊矩阵的合成	(33)
2.1.4 模糊矩阵的转置	(34)
§ 2.2 模糊关系	(35)
2.2.1 模糊关系的定义	(35)
2.2.2 模糊关系的运算	(36)
2.2.3 模糊关系的性质	(37)
2.2.4 模糊等价关系	(38)
§ 2.3 模糊关系的合成	(39)

2.3.1	模糊关系合成的定义	(39)
2.3.2	模糊关系合成运算性质	(40)
§ 2.4	模糊向量	(42)
2.4.1	模糊向量	(42)
2.4.2	模糊向量的笛卡尔乘积	(42)
2.4.3	模糊向量的内积与外积	(43)

第三章 模糊逻辑与模糊语言

§ 3.1	模糊逻辑	(45)
3.1.1	命题与二值逻辑	(45)
3.1.2	模糊命题与模糊逻辑	(47)
3.1.3	De-Morgan 代数	(48)
3.1.4	模糊逻辑公式	(49)
3.1.5	模糊逻辑函数及其分解	(50)
§ 3.2	模糊逻辑电路	(54)
3.2.1	连续值开关网络	(54)
3.2.2	模糊逻辑门电路	(56)
3.2.3	模糊函数的电路实现	(59)
§ 3.3	模糊语言	(63)
3.3.1	自然语言和形式语言	(63)
3.3.2	集合描述的语言系统	(64)
3.3.3	模糊语言算子	(65)
3.3.4	语言值及其四则运算	(67)
3.3.5	模糊语言变量	(69)
§ 3.4	模糊推理	(70)
3.4.1	判断与推理	(70)
3.4.2	模糊推理句	(72)
3.4.3	模糊推理	(73)
3.4.4	模糊条件语句及其推理规则	(74)

第二篇 模糊自动控制理论

第四章 模糊自动控制原理

§ 4.1	模糊控制的基本思想	(78)
§ 4.2	模糊控制系统的组成	(80)
§ 4.3	模糊控制的基本原理	(81)
4.3.1	一步模糊控制算法	(81)
4.3.2	模糊自动控制原理	(82)

第五章 模糊控制器设计的基本方法

§ 5.1	模糊控制器的结构设计	(89)
-------	------------	------

5.1.1	人-机系统中的信息量	(89)
5.1.2	模糊控制器的输入输出变量	(90)
§ 5.2	模糊控制规则的设计	(91)
5.2.1	选择描述输入和输出变量的词集	(91)
5.2.2	定义各模糊变量的模糊子集	(92)
5.2.3	建立模糊控制器的控制规则	(95)
§ 5.3	精确量与模糊量的相互转换	(97)
5.3.1	模糊化方法	(97)
5.3.2	模糊量到精确量的转换方法	(98)
§ 5.4	论域、量化因子及比例因子的选择	(100)
5.4.1	论域及基本论域	(100)
5.4.2	量化因子及比例因子	(100)
5.4.3	量化因子及比例因子的选择	(101)
§ 5.5	模糊控制算法的实现	(102)
5.5.1	模糊控制算法与查询表	(102)
5.5.2	模糊控制算法程序框图	(103)
§ 5.6	采样时间的选择	(104)

第六章 模糊控制规则的自调整与自寻优

§ 6.1	简单的模糊控制器	(106)
6.1.1	模糊控制器的结构	(106)
6.1.2	模糊控制规则	(106)
6.1.3	确定模糊变量的赋值表	(108)
6.1.4	建立模糊控制表	(109)
6.1.5	简单模糊控制器的控制特性	(110)
§ 6.2	控制规则可调整的模糊控制器	(113)
6.2.1	控制规则的解析描述	(113)
6.2.2	带有调整因子的控制规则	(114)
6.2.3	调整因子对控制性能的影响	(115)
§ 6.3	模糊控制规则的自寻优	(115)
6.3.1	带有两个调整因子的控制规则	(116)
6.3.2	带有多个调整因子的控制规则	(117)
6.3.3	模糊控制规则的自寻优	(117)
§ 6.4	带有自调整因子的模糊控制器	(119)
6.4.1	模糊量化控制规则	(120)
6.4.2	控制性能对比研究	(120)
§ 6.5	改善模糊控制器性能的途径	(121)
6.5.1	Fuzzy-PID 复合控制	(121)

6.5.2 三维模糊控制器.....	(121)
6.5.3 Smith-Fuzzy 控制器.....	(123)

第七章 模糊系统辨识与模糊预测

§ 7.1 模糊系统辨识.....	(125)
7.1.1 模糊模型的概念.....	(125)
7.1.2 模糊模型的品质指标.....	(126)
7.1.3 模糊模型的建立方法.....	(127)
§ 7.2 模糊模型的建模举例.....	(129)
7.2.1 建立输入输出空间 U 和 Y	(129)
7.2.2 确定模型的结构.....	(130)
7.2.3 确定模糊控制规则.....	(131)
§ 7.3 自适应模糊预测模型.....	(132)
§ 7.4 “模糊控制”模型预报.....	(134)
7.4.1 “模糊控制”模型预报的方法.....	(134)
7.4.2 “模糊控制”模型预报的算法.....	(136)
7.4.3 输出信息的综合.....	(138)
§ 7.5 降水量模糊模型预报.....	(138)
7.5.1 确定预报因子.....	(139)
7.5.2 输入输出信息的集合描述.....	(139)
7.5.3 模糊模型的建立.....	(143)
7.5.4 模糊关系矩阵的计算.....	(145)
7.5.5 预报输出的计算.....	(146)
7.5.6 预报决策.....	(147)

第八章 自适应模糊控制原理

§ 8.1 自适应模糊控制器的结构.....	(149)
8.1.1 概述.....	(149)
8.1.2 自适应模糊控制器的结构.....	(150)
§ 8.2 自适应模糊控制器的原理.....	(150)
8.2.1 性能测量.....	(151)
8.2.2 控制量的校正.....	(152)
8.2.3 控制规则的修正.....	(153)
8.2.4 控制表的获得.....	(154)
§ 8.3 模型参考自适应模糊控制系统.....	(155)
8.3.1 MRAS 系统.....	(155)
8.3.2 MRAS 系统的模糊算法.....	(155)
§ 8.4 仿真研究.....	(158)
8.4.1 自组织模糊控制器的仿真.....	(158)
8.4.2 模型参考自适应模糊控制系统的仿真.....	(160)