

高等学校教学用书

微机模糊控制理论 及其应用

Fuzzy Control

北方工业大学 王学慧 田成方 编著

电子工业出版社

微机模糊控制理论 及其应用

Fuzzy Control

(国家自然科学基金资助课题)

北方工业大学

王学慧 田成方

电子工业出版社

内 容 简 介

本书前四章介绍了微型机 Fuzzy (模糊) 控制理论及其应用技术的发展简况及学习 Fuzzy 控制理论的必备知识。后五章主要介绍 Fuzzy 控制理论、Fuzzy 控制器设计方法、Fuzzy 控制模型及算法、微型机 Fuzzy 控制系统、Fuzzy 控制的稳定性问题等内容,并给出许多实例,供读者学习和参考。

本书可作为大专院校自动控制、计算机应用、工业自动化仪表以及其他有关专业师生的教学用书,还可作为科研、生产单位的工程技术人员、技术工人的培训教材或自学读本。

微机模糊控制理论及其应用

北方工业大学 王学慧 田成方

责任编辑:梁祥丰

*

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

北京科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.25 字数: 240.3 千字

1987 年 11 月第 1 版 1987 年 11 月第 1 次印刷

印数: 00,001—4,000 册 定价: 1.90 元

统一书号: 15290·592

ISBN 7-5053-0059-8/FN36

前 言

自从 1965 年美国自动控制理论专家 L. A. Zadeh (查德) 提出了用 “Fuzzy sets”(模糊集合) 描述 Fuzzy (模糊) 事物以来, 20 年中 Fuzzy 数学及其应用的发展十分迅速。1974 年英国 Mamdani (马丹尼) 首先把 Fuzzy 集理论用于锅炉和蒸汽机的控制, 效果很好。这是 Fuzzy 控制理论及其应用的开端。

Fuzzy 集理论及其应用与电子计算机的发展之间有着“血缘”关系。可以说, 没有电子计算机的发展, 便没有 Fuzzy 集理论的诞生; 而 Fuzzy 集理论的出现又促进了电子计算机应用的发展。由于应用 Fuzzy 集理论建立 Fuzzy 模型, 来编制计算机程序, 可以更深入、更广泛地模拟人的思维, 从而使计算机具备一定的智能。例如让计算机自动控制驾驶飞机, 自动吊装大建筑物、自动控制复杂的还原炉系统, 或将计算机技术应用到人工智能、图像识别、医疗诊断、经济学、心理学、生态学以及管理科学等领域中, 都需要 Fuzzy 集理论与电子计算机技术的紧密结合。当前微型机的问世和快速发展, 其应用已渗透到国民经济和社会生活许多领域中, 因此学习和掌握微型机 Fuzzy 控制理论及其应用技术, 已成为广大读者的迫切要求。为此我们特编著了“微机模糊控制理论及应用”一书, 供读者在学习和工作中参考。

全书分两篇, 共九章。第一篇是基础篇, 有四章, 主要介绍 Fuzzy 控制理论及其应用的发展史及学习时所必备的有关基础知识。第二篇是 Fuzzy 控制理论与应用篇, 有五章, 主要介绍 Fuzzy 自动控制理论、Fuzzy 控制器的一般设计方法、Fuzzy 控制模型和算法、自组织 Fuzzy 控制器、微型机 Fuzzy 控制系统以及 Fuzzy 控制的稳定性问题等。其中给出了许多实例分析。

本书的内容是作者在中南工业大学自动化系和计算机系讲授“微型机工业控制技术”课程时的教材,并经过多次修改和补充。书中有些章节引用了楼世博、冯德益、贺仲雄、宋大鹤、陈国范、陈国权、汪培庄、张仁生、龙升照、郑维敏、李宝绥、刘志俊、洪钟威、邵世煌、赵红、李太航、邓聚龙、L. A. Zadeh、T. J. Procyk 等的论著和文章的内容,谨表衷心感谢。

初稿完成时,中南工业大学自动化系和北方工业大学计算机研究所的许多同志,为初稿的修补提出宝贵的意见。在编著本书过程中,曾得到中南工业大学和北方工业大学各级领导和计算中心的同志们大力支持和帮助。李永福和涂象初同志对初稿进行了审阅,在此一并致谢。

由于作者水平有限,经验不足,书中缺点和错误一定不少,欢迎读者批评指教。

作者 1986 年 4 月于北方工业大学

目 录

第一篇 概论及预备知识

第一章 Fuzzy 自动控制的诞生及发展.....	1
§ 1-1 Fuzzy 理论的兴起	1
§ 1-2 电子计算机与 Fuzzy 理论	4
一、电子计算机的主要特点.....	4
二、计算机技术与 Fuzzy 理论	5
§ 1-3 Fuzzy 理论在计算机自动控制中的应用概况.....	6
一、Fuzzy 自动控制的诞生	6
二、Fuzzy 自动控制的应用概况.....	7
§ 1-4 怎样学习和应用 Fuzzy 自动控制理论	8
第二章 Fuzzy 数学的基础知识.....	10
§ 2-1 普通集合与 Fuzzy 集合	10
一、普通集合.....	10
二、Fuzzy 集合的基本概念.....	18
§ 2-2 Fuzzy 子集的特性及运算法则.....	20
一、Fuzzy 子集的特性及运算法则	20
二、 λ 水平截集	26
三、Fuzzy 子集的记法	28
§ 2-3 关系及映射	28
一、关系和关系图.....	28
二、关系的运算.....	31
三、映射.....	32
第三章 Fuzzy 控制理论的预备知识.....	36
§ 3-1 Fuzzy 关系与 Fuzzy 关系图	36

一、Fuzzy 关系 R	36
二、Fuzzy 矩阵和关系图	38
§ 3-2 Fuzzy 关系矩阵的运算和应用	40
一、Fuzzy 关系矩阵的运算	40
二、Fuzzy 关系的应用举例	41
§ 3-3 Fuzzy 逻辑	45
一、二值逻辑	46
二、连续值逻辑与 Fuzzy 逻辑	48
三、Fuzzy 函数与 Fuzzy 变量	50
四、Fuzzy 函数与 Fuzzy 逻辑电路	53
§ 3-4 Fuzzy 语言	55
一、语言的 Fuzzy 性	56
二、Fuzzy 语言的定量刻划——Fuzzy 算子	57
三、Fuzzy 推理	61
§ 3-5 Fuzzy 性的度量	67
一、Fuzzy 集合的模糊度——Fuzzy 度	67
二、海明 (Hamming) 距离度量法	69
三、加权海明距离度量法	73
四、距离度量法的其它形式	75
五、贴近度与择近原则	77
§ 3-6 Fuzzy 模式识别简介	80
一、什么叫 Fuzzy 模式识别	80
二、个体 Fuzzy 模式识别的一般方法	82
三、群体的 Fuzzy 模式识别	82
§ 3-7 Fuzzy 变换、综合判决与关系方程	87
一、什么叫 Fuzzy 变换	87
二、Fuzzy 决策与综合评判	88
三、Fuzzy 关系方程	92
第四章 微机控制系统概述	101
§ 4-1 微机工业控制系统的发展过程	101

§ 4-2 微型机工业控制系统的特点及其结构	102
一、主要特点	102
二、系统的组成	103
§ 4-3 微型机工业控制系统的类型	105
一、微型机开环控制系统	105
二、微型机闭环控制系统	107
§ 4-4 外围设备简介	111
一、输入过程通道	111
二、输出过程通道	112
§ 4-5 模拟量输入通道信号的处理	114
一、标度变换	114
二、多路切换采样器	115
§ 4-6 采样保持和数据放大	117
一、采样保持器	117
二、数据放大器	119
§ 4-7 A/D、D/A 转换器	120
一、A/D 转换	121
二、A/D 转换的量化误差、D/A 转换和孔径时间	126
§ 4-8 模拟量输出通道	130
一、作用和结构	130
二、模拟量的存贮和输出	132

第二篇 Fuzzy 控制理论与应用

第五章 Fuzzy 自动控制理论	135
§ 5-1 Fuzzy 自动控制的基本概念	135
一、人-机系统中操作者的 Fuzzy 概念	135
二、Fuzzy 控制系统中 Fuzzy 概念的确定方法	137
§ 5-2 Fuzzy 自动控制的工作原理	142
一、怎样实现 Fuzzy 自动控制	142
二、精确量的 Fuzzy 化	143

三、Fuzzy 控制规则的构成	144
四、输出信息的 Fuzzy 判决	150
§ 5-3 一个实用的 Fuzzy 控制器	153
第六章 Fuzzy 控制器的设计	159
§ 6-1 确定 Fuzzy 控制器结构和控制规则的基本原则	159
一、Fuzzy 控制器的结构	159
二、Fuzzy 控制器的控制规则	161
§ 6-2 Fuzzy 控制器设计的一般方法	163
一、采用极大极小合成运算的设计方法	163
二、应用 Fuzzy 数和插值原理的设计方法	165
§ 6-3 带修正因子的 Fuzzy 控制器的设计	171
一、控制规则的数学描述	172
二、控制系统的结构及工作特点	174
§ 6-4 自调整、自修正 Fuzzy 控制器的设计	175
一、性能测量部分	176
二、控制量校正部分	178
三、控制规则的校正部分	180
§ 6-5 双模 Fuzzy 控制系统的设计	182
一、问题的提出	182
二、系统结构与工作原理	183
三、预测 Fuzzy 控制过程的设计	183
四、仿真研究	185
第七章 Fuzzy 控制器的数学模型和算法	189
§ 7-1 问题的提出	189
§ 7-2 建立 Fuzzy 控制器的数学模型	190
一、Fuzzy 映射及其在建模中的应用	190
二、以 Fuzzy 映射为工具的 Fuzzy 控制器的数学模型	196
§ 7-3 Fuzzy 控制器模型及算法分析	197
§ 7-4 用 Fuzzy 理论辨识系统的模型	201
一、Fuzzy 模型定义和品质指标的确定	201

二、Fuzzy 模型建立的过程	203
三、处理技术及其实例分析	206
第八章 Fuzzy 自动控制系统的稳定性	213
§ 8-1 稳定性及标量函数的定义	213
一、平衡状态	213
二、经典理论下的稳定性、渐近稳定性的概念和定义	214
三、标量函数的特性	215
四、判别系统稳定性的基本方法	216
§ 8-2 略普诺夫-波波夫稳定性理论概要	218
一、略普诺夫法的基本定理	218
二、波波夫的稳定性理论	219
§ 8-3 如何判断 Fuzzy 系统的稳定性	220
一、用等价多值继电器法对 Fuzzy 控制器的性能进行分析	221
二、用 Fuzzy 控制器的代数模型分析 Fuzzy 系统的稳定性	223
三、根据 Fuzzy 数定义、Euzzy 控制律和典型控制过程来分析 Fuzzy 系统的稳定性	224
第九章 Fuzzy 控制的发展及应用实例	237
§ 9-1 Fuzzy 控制的发展及其动向	237
一、国外情况	237
二、国内情况	240
三、Fuzzy 控制的进展	241
§ 9-2 实例分析 1——还原炉中氢气流量的 Fuzzy 控制	243
一、被控对象的结构及控制任务	244
二、Fuzzy 控制器的设计	243
§ 9-3 实例分析 2——九管还原炉自动控温系统	251
一、被控对象的结构特点及控制任务	251
二、六个温区的处理	252
三、Fuzzy 控制器的设计	253
§ 9-4 实例分析 3——锤熔炉微型机前馈-反馈及 Fuzzy 控制系统	259
一、被控对象的结构特点以及控制任务	259
二、控制系统结构及其工作原理	263

三、控制算法	263
四、软件设计	270
§ 9-5 实例分析 4 —— 微型机自组织 Fuzzy 控制在选矿破碎生产	
过程中的应用	272
一、被控对象的工艺特点及控制任务	272
二、控制系统结构的选定及其工作原理	274
三、结论	281
常用符号索引	282
主要参考文献	284

第一篇 概论及预备知识

本篇共分四章,其中主要叙述 Fuzzy 自动控制理论及其应用的发展史,并详细地介绍了学习 Fuzzy 控制理论的必备基本知识,为读者学习第二篇的内容打下基础。

第一章 Fuzzy 自动控制的诞生及发展

§ 1-1 Fuzzy 理论的兴起

“Fuzzy”一词出自英语,译成中文是“模糊”的意思。它又可译成“不分明的”或“边界不清的”。

人们生活中碰到的许多事情,包括人脑的思维,都具有模糊性的特点。所谓模糊性,主要是指客观事物彼此间的差异在其中间过渡时的“不分明性”。可以说,它是日常生活中习以为常的现象。例如“大与小”、“高与矮”、“快与慢”,“热与冷”、“矿脉与围岩”等等,都很难用精确的数学语言划分出一条截然分明的界线。

经典数学的主要特点是它描述事物所用方法的精确性。例如,人们已将自然科学中的某些基本规律表示为相应的微分方程,然后求解。其最成功的例子之一,便是根据万有引力定律推导出行星环绕太阳运行的轨道,从而根据推算发现了海王星。众所周知,精确数学是建立在经典集合论的基础上。它要求,一个对象只能属于某一个集合,而一个集合到底包括哪些对象也必须明确。这就严格限制了经典数学的应用范围,使它难以描述人们在日常生活中遇到的大量的模糊现象与概念。

随着科学技术的发展,在有些现象中,由于影响因素过多,参数与条件过于多样和复杂,描述它的相应微分方程将要包括众多已知和未知的变量和随机变量,要列出它们的微分方程式往往很困难,甚至无法实现,更谈不上求解了。此外,那些过去不大用数学方法处理问题的学科,如生物学、心理学、人文科学、语言学以及社会科学等等,都迫切需要定量化和数学化,而其中多数问题需要用模糊数学来描述。所以人们在已有的经典数学方法的基础上,根据上述各学科本身的特点所决定的客观规律改造现有数学,使它应用的面更为广泛,这样产生了随机数学和模糊数学。

模糊集论是于 1965 年由美国自动控制专家查德 (L. A. Zadeh) 教授首次提出来的。在他的第一篇论文《Fuzzy Set》中,就提出了“隶属函数”的概念,用它来描述差异的中间过渡性,给出了模糊概念的定量表示法。经典数学中的集合,完全是通过其特征函数来进行运算,每个集合 A 都有一个特征函数 $C_A(x)$,其定义如下:

$$C_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{当 } x \text{ 属于 } A \text{ 区内} \\ 0, & \text{当 } x \text{ 不属于 } A \text{ 区内} \end{cases}$$

特征函数的图形如图 1-1 所示。由于经典集合论的特征函数只允许取 $\{0, 1\}$ 两个值,故与二值逻辑相对应,按布尔代数法则来运算。而模糊数学是将二值逻辑 $\{0, 1\}$ 推广到取值为 $[0, 1]$ 闭区间任意值的连续值逻辑,也就是将特征函数作了适当推广,叫隶属函数,以 $\mu_A(x)$ 表示,它满足:

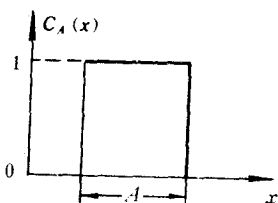


图 1-1 集合 A 的特征函数

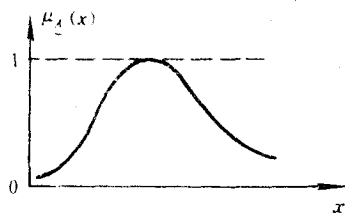


图 1-2 隶属函数 $\mu(x)$

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1,$$

如图 1-2 所示 (严格定义请参看第二、三章)。用它来描述差异的中间过渡性,使模糊概念有了定量表示法。

模糊数学问世以来,其发展异常迅速,到七十年代初期,模糊集合的概念愈来愈被更多的科学工作者所接受,这方面的研究工作也相应迅速发展起来。

控制论的创始人维纳 (Wechler) 在谈到人为什么能胜过任何最完善的机器时,强调说:“人具有运用模糊概念的能力”。在现实生活中,许多现象和关系是具有模糊性的,例如“两个人长得象”就是一种模糊关系。因为一个人只能与自己长得一模一样,可以用模糊理论中“隶属函数”值等于“1”来表示。而儿子象父亲,只能用“隶属函数”值为“0”与“1”之间的某个值来表示。可见模糊关系是经典关系的自然扩展。

模糊理论也正在发展并不断完善,其应用也日益广泛,因为它既认识到事物的“非此即彼”的明晰性形态,又认识到事物的“亦此亦彼”的过渡性形态。到1985年为止,据不完全统计全世界已有这方面的论文近四千余篇,其应用的涉及面几乎遍及理、工、农、医、商等各行业及社会科学的各个领域。

我国气象工作者已将模糊数学理论试用于天气预报,并取得良好的效果,在国际气象学术会议上得到好评。我国医务工作者在医疗诊断方面,由于采用了模糊集论方法,在总结著名医生行医经验的基础上,研制成计算机诊病的专家系统,收到了可喜的效果。荣获 1980 年北京市科技成果一等奖的“关幼波教授治疗肝病计算机诊断程序”就属此例。近年来,我国地震学界已将模糊数学直接用于地震前兆与地震预报的研究。并在震源孕育模式的模糊鉴别、烈度评定、介质结构判别等课题的研究中,取得了初步的成果。

目前,模糊数学已在自动控制、信息处理、人工智能、图象识别、农作物选种、商品评价、化合物分类以及地学、经济学、社会学、语言学、管理科学、法学和哲学等各领域得到了应用。

众所周知,经典控制论解决线性定常系统的控制问题是十分有效的。现代控制论在军事科学、空间飞行等多方面得到成功的运用。并且控制理论及其应用技术还将随着科学技术的进步而不断向前发展。但是,在工业生产中,却有相当数量的过程难以实现自动控制,如那些大滞后、非线性等复杂工业对象,那些难以获得数学模型或模型非常粗糙的工业系统等等,都仍然以人工操作和人工控制为主。近年来的实践表明,上述难以实现自动控制的生产过程中的某些环节,如果采用计算机与 Fuzzy 控制理论来实现自动控制,往往效果很好,并且所需设备简便,经济效益较显著。例如,在高炉冶炼、有色冶金还原炉系统以及某些石油化工过程的自动控制系统中,应用这种方法都取得了良好效果(详见本章第三节)。

模糊数学、模糊自动控制理论虽然在自然科学及社会科学领域内的应用有着广阔的前景,但它正处于初始发展阶段,一些应用仅初有成效,其发展还有待继续探索。

§ 1-2 电子计算机与 Fuzzy 理论

一、电子计算机的主要特点

电子计算机问世后不久,人们就根据它能实现人脑部分功能的特点,送给它一个别名——电脑。这个电脑的特点如何呢?现列举如下:

1. 计算速度 电子计算机的计算速度胜过人脑是其主要特点。它的运算速度是以万分之一秒,千万分之一秒,或亿分之一秒计算的。而人脑的反应速度,最快也仅有千分之一秒。

2. 精度 电子计算机的计算精确度高是它的另一特点。由于计算机采用二进制数字式表示法,因而使数据的表示、存贮及运算都能以很高的精确度进行。根据生产和科研的实际需要,可以选择其运算精确度从千分之几到万分之几,甚至还可更高。

3. “记忆”能力和逻辑判断能力 电子计算机具有类似人脑的“记忆”能力和逻辑判断能力。它可以保存有大量的解题程序、数据等信息,同时可以进行各种逻辑判断,并能根据判断的结果自动地决定它应该执行什么命令。这两种功能是构成计算机自动工作的重要因素。

4. 自动控制功能 电子计算机能够按程序自动地进行工作,不需要人的直接参与。它可以自动地输入外部信息,迅速地作出反应。通过运算、逻辑判断和处理,输出回控信息,对外界进行控制。因此电子计算机不但是一个自动计算工具,而且是个自动控制工具。

此外,电子计算机还能辨认图象,进行对样品的性能模拟和各种设计方案等的比较等等。

电子计算机虽然这样“能力非凡”,但它毕竟不如人脑。第一,它是人在劳动生产中创造出来的;第二,它只有依靠人们编制的程序才能工作,归根结蒂它并没有思考能力和创造性,只能服从人下达的命令。思维能力与创造性是人脑的“灵魂”。人脑可以在低准确度的条件下,进行非常复杂的工作,并且能达到相当高的可靠性。到目前为止,世界上还没有一台能象人脑一样工作的电子计算机。

二、计算机技术与 Fuzzy 理论

随着新的工业革命深入发展,不仅需要更广泛地借助于电子计算机这个工具,还需要不断地提高它的“智力”,使它能够模拟人脑的思维和创造能力,以适应复杂而多变的环境。

Fuzzy 理论和 Fuzzy 控制技术从问世之日起,就和电子计算机技术的发展有很密切的关系。利用 Fuzzy 数学理论建立数学模型,来编制计算机程序,可以更深入、更广泛地模拟人的思维和创造能力。如计算机自动驾驶坦克,自动控制高炉冶炼,自动吊装大型建筑物,自动控制和调节复杂的还原炉系统,或将计算机技术

应用到心理学、生物学、医疗诊断、经济学以及社会科学等领域中去,都有待于电子计算机的“智力”的不断提高才能实现。Fuzzy 数学和 Fuzzy 控制理论就是因此应运而生、并迅速发展起来的。

§ 1-3 Fuzzy 理论在计算机自动控制中的应用概况

一、Fuzzy 自动控制的诞生

对于那些无法获得数学模型或模型粗糙的复杂的非线性时变系统,按传统的方法难以实现自动控制。但是,一个非常熟练工人或技术人员,却能凭借自己的丰富实践经验,用手工操纵来控制一个复杂的生产过程。这就使人联想到,能否把这些工人和技术人员头脑中丰富的经验加以总结,将凭经验所采取的措施变成相应的控制规则,并且研制一个“控制器”来代替这些控制规则,从而对这个复杂的工业过程实现控制呢?实践证明以 Fuzzy 控制理论为基础的“Fuzzy 控制器”能完成这个任务。

由于人的控制经验是用人的语言进行总结的。而语言是思维的外壳,它带有相当程度的模糊性。例如,当我们要保持一个水塔中的水位时,可以通过调节水泵阀门将水位稳定在固定点。按照人的经验可有下列控制原则:

(1) 若水位高于固定点,则排水,若差值越大,则排水阀门开大,排水越快;

(2) 若水位低于固定点,则灌水,若差值越大,则灌水阀门开大,灌水越快;差值变小,灌水阀门开小,水注入变慢。

在上述阐明“操作经验的语言”中,“高于”、“低于”、“开大”、“开小”、“越快”、“变慢”等这些词都带有一定的模糊性,因此必须用 Fuzzy 数学中的 Fuzzy 集合来刻划这些 Fuzzy 语言。Fuzzy 自动控制就是在这些想法的基础上形成的。