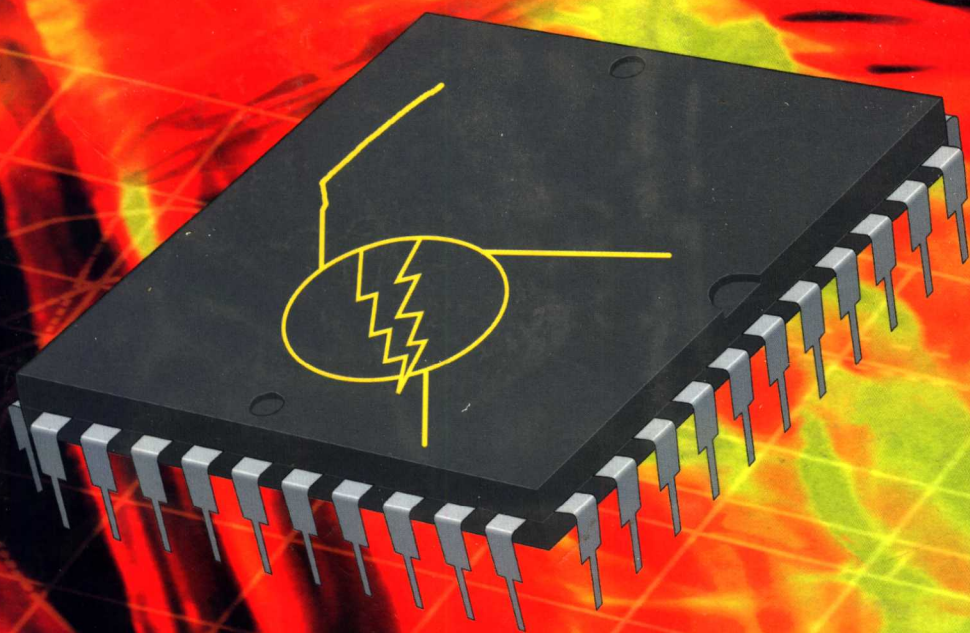




模糊控制技术 与 模糊家用电器

余永权 著



北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

模糊控制技术

模糊家用电器

张维 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模糊控制技术与 模糊家用电器

余永权 著

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内 容 简 介

本书是一本系统介绍模糊控制技术在家用电器领域中应用的专著,内容包括模糊控制的基本工程方法、家用电器模糊控制的关键性技术及模糊家用电器的实际例子等。全书共分七章:第一章概括介绍模糊逻辑及家用电器的发展;第二章介绍一些家用电器的结构原理;第三、四章介绍模糊控制原理及方法;第五章介绍模糊家用电器的关键技术;第六章介绍模糊家用电器的可靠性技术;第七章给出了6个模糊家用电器的实际例子。

本书系统性强、内容充实、理论性和实用性相结合,是一本可读性强、应用价值高的工程技术书籍。

本书可作为从事模糊控制开发设计的工程技术人员的参考书,也可作电子、自动化及计算机类大学生或相应人员学习的教材和指导书,特别适用于家电行业工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

模糊控制技术与模糊家用电器/余永权著. —北京:
北京航空航天大学出版社, 2000.12

ISBN 7-81012-765-9

I. 模... II. 余... III. 模糊控制—应用—家用电气
器具 IV. TM925

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 47941 号

模糊控制技术与模糊家用电器

责任编辑**王海虹

*

北京航空航天大学出版社出版发行
北京市学院路 37 号, 邮编 100083, 发行部电话 010-82317024

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: pressell@publica.bj.cninfo.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.5 字数: 397 千字
2000 年 12 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 次印刷 印数: 5000 册
ISBN 7-81012-765-9/TP·273 定价: 24.00 元

前 言

神经网络、模糊逻辑、进化算法是当今人们公认的三种研究人的智能的前沿学科。模糊理论的创始人 Zadeh 把这三者统称为“软计算”，并把它们作为一个统一的整体进行研究。但事实上，神经网络还处于理论研究阶段，它的网络拓扑及权系数的求取不但复杂，而且在实时性上还存在不少需要深探的问题；进化算法反映了自然界的自然优化过程，但它的参数众多及各步非同一模式的过程还令人感到其高深莫测。所以，这两个学科与实际广泛的应用尚有一定距离，即使这种距离正在日益缩短。令人感到庆幸的是：模糊逻辑有着出人意料的实用性。正因为“有用的东西才是受欢迎的”，所以，模糊理论在应用中大受欢迎，并且在各种领域大放异彩，尤其在家用电器领域大显身手。

当神经网络、进化算法尚还是专家研究的热点时，模糊理论已为广大工程技术人员所接受和应用了。究其原因，在于模糊控制所采用的规则和人们的思维相一致。Zadeh 曾十分精辟地描述模糊控制是“词”的控制，而不是“数”的控制。这说明模糊控制采用模糊量，也就是人们思维中的词，去执行控制是和人的智能过程相印证的。这是模糊控制易于推广到工程上的重要的原因。

模糊控制用于家用电器不是一种装饰或者噱头，而是家用电器自身发展的需要。家用电器正沿着传统的机械式→电子式→智能式这样一条道路向前发展。它必然会去寻求一种更新、更优的技术提高自身的水准，以满足人们生活水平提高的需要。以洗衣服为例：早期，人们用洗衣板，进而用机械定时式洗衣机，随后用电子定时式洗衣机，近十年采用电脑式洗衣机，现在则希望用电脑模糊控制洗衣机。原因在于洗衣机采用先进的技术，就可使人们省去大量的搓衣、漂洗、下洗涤剂、拧干等劳动，并且可以保证洗涤效果又好又快。这些需要，推动了模糊控制和家用电器的结合。

家用电器的发展有两个很重要的方面：一个是在原有的家用电器上进行技术创新，改进品质，降低功耗；另一个是创造新型家用电器。无论如何，采用模糊控制技术有百利而无一弊。故而，家用电器生产厂家纷纷努力把自己的家用电器“模糊化”。这也是一个精明之举。

模糊控制毕竟是建立在模糊数学基础上的，而模糊数学本身又是一门新的理论，加上它和传统的数学有着很大的区别，所以，很多想了解它的人往往被其独特的、非传统的风格所阻，而在门外徘徊不定。这种状况需要有一本能结合实际，而又较易理解的模糊控制著作，以协助人们尽快掌握这种新颖的控制方法，在实际应用中创造更多的成效。作者为此专门写了这本书。

本书是作者在长期的教学、科研以及模糊控制产品开发的基礎上,結合取得的成果以及吸取以前多部著作的精華寫成的。該書力求做到選材新穎,例子實用,特色明顯,簡明扼要,深入淺出。

由於作者水平有限,加上寫作期間帶有較多教學、科研及其他公務,故而,對書中出現的錯誤及疏漏可能未能盡為校除,望讀者批評指正及鑒諒。

作 者

2000 年 1 月於廣東工業大學

目 录

第一章 模糊逻辑与模糊家用电器的发展

- 1.1 人类思维的模糊性..... (1)
- 1.2 模糊逻辑的产生和发展..... (1)
- 1.3 单片机与模糊控制..... (6)
 - 1.3.1 单片机和模糊控制相结合的原因..... (6)
 - 1.3.2 数字单片机实现模糊控制..... (8)
 - 1.3.3 模糊单片机实现模糊控制..... (9)
 - 1.3.4 单片机与模糊控制的前景展望..... (10)
- 1.4 模糊家用电器的发展概况..... (11)

第二章 一般家用电器的结构与原理

- 2.1 电热型家用电器的结构与原理..... (14)
 - 2.1.1 电热毯的结构与原理..... (14)
 - 2.1.2 电烤炉的结构与原理..... (18)
 - 2.1.3 电饭煲的结构与原理..... (20)
- 2.2 电冷型家用电器的结构与原理..... (22)
 - 2.2.1 电冰箱的结构与原理..... (22)
 - 2.2.2 空调器的结构与原理..... (27)
 - 2.2.3 半导体电冰箱的结构与原理..... (31)
- 2.3 水洗型家用电器的结构与原理..... (34)
 - 2.3.1 洗碗机的结构与原理..... (34)
 - 2.3.2 洗衣机的结构与原理..... (38)
- 2.4 高频型家用电器的结构与原理..... (45)
 - 2.4.1 微波炉的结构与原理..... (46)
 - 2.4.2 电磁炉的结构与原理..... (51)

第三章 模糊控制基础

- 3.1 模糊集合和隶属函数..... (57)
 - 3.1.1 模糊集合..... (57)
 - 3.1.2 隶属函数..... (58)
 - 3.1.3 模糊集合的表示方法和运算..... (60)
- 3.2 分解定理和扩张定理..... (63)
 - 3.2.1 λ 截集..... (63)
 - 3.2.2 分解定理..... (64)

3.2.3 扩张定理·····	(65)
3.3 模糊关系和模糊矩阵·····	(66)
3.3.1 普通关系和模糊关系·····	(67)
3.3.2 模糊矩阵和合成运算·····	(70)
3.4 模糊变换·····	(74)
3.4.1 变换的概念·····	(74)
3.4.2 模糊变换及其意义·····	(75)
3.5 模糊逻辑·····	(77)
3.5.1 模糊命题·····	(77)
3.5.2 模糊逻辑·····	(79)
3.6 模糊推理·····	(81)
3.6.1 Mamdani 推理·····	(81)
3.6.2 Larsen 推理·····	(82)
3.6.3 Tsukamoto 推理·····	(83)
3.6.4 Takagi - Sugeno 推理·····	(84)

第四章 模糊控制系统及其工程方法

4.1 模糊控制的基本原理·····	(86)
4.2 模糊控制系统·····	(89)
4.3 模糊化方法·····	(94)
4.3.1 论域的量化·····	(94)
4.3.2 模糊划分·····	(96)
4.3.3 模糊表达·····	(99)
4.4 模糊控制规则及其生成方法·····	(102)
4.4.1 模糊控制规则及其格式·····	(102)
4.4.2 模糊控制规则的生成·····	(104)
4.5 反模糊化方法·····	(106)
4.5.1 最大隶属度法·····	(106)
4.5.2 中位数法·····	(107)
4.5.3 重心法·····	(107)
4.6 模糊控制算法·····	(108)
4.6.1 关系矩阵法·····	(108)
4.6.2 查表法·····	(109)
4.6.3 解析式法·····	(111)

第五章 家用电器模糊控制的关键技术

5.1 模糊物理量的检测方法·····	(112)
5.1.1 模糊物理量的直接检测·····	(112)
5.1.2 模糊物理量的间接检测·····	(115)

5.1.3	模糊物理量的多重检测	(120)
5.2	模糊控制系统结构的优化设计	(122)
5.2.1	模糊控制器的硬件核心——单片机的选择	(122)
5.2.2	输入通道的优化技术	(125)
5.2.3	输出通道的优化技术	(128)
5.3	非 A/D 型单片机的 A/D 转换技术	(133)
5.4	提高 A/D 转换精度的技术	(139)
5.4.1	提高单片机内 A/D 转换精度的原理	(139)
5.4.2	半导体温度传感器及其特性	(140)
5.4.3	提高温度检测精度的方法	(144)
5.5	模糊控制表的产生方法	(153)
第六章 家电模糊控制中的电磁兼容性设计		
6.1	电磁兼容性 EMC	(163)
6.1.1	干扰源及干扰信号	(164)
6.1.2	干扰信号的传播途径	(165)
6.2	电磁干扰排除方法之一:印刷电路板布线设计	(168)
6.2.1	PCB 电源回路布线	(168)
6.2.2	PCB 的地线布局	(171)
6.2.3	PCB 的信号线布局	(173)
6.2.4	单片机振荡电路布线	(174)
6.2.5	单片机输入引脚处理	(176)
6.3	电磁干扰排除方法之二:监视定时器的应用	(177)
6.4	电磁干扰排除方法之三:软件防护方法	(178)
6.5	减少干扰的经验方法及电磁干扰的简单测试方法	(181)
6.5.1	减少电磁干扰的经验方法	(181)
6.5.2	电磁干扰的简单测试方法	(182)
第七章 家用电器模糊控制应用实例		
7.1	模糊电饭煲	(184)
7.1.1	煮饭的一般工艺过程	(184)
7.1.2	模糊电饭煲的控制电路	(186)
7.1.3	电饭煲模糊控制机理	(191)
7.1.4	控制软件及其流程	(196)
7.2	模糊电冰箱	(198)
7.2.1	电冰箱模糊控制的框图	(198)
7.2.2	电冰箱模糊控制中的控制规则及模糊量	(200)
7.2.3	控制系统的电路原理	(204)
7.3	模糊消毒柜	(206)

7.3.1	控制器系统结构	(206)
7.3.2	消毒柜模糊控制原理	(207)
7.3.3	软 件	(209)
7.3.4	消毒柜控制器性能和控制电路	(212)
7.4	模糊手机充电器	(213)
7.4.1	智能充电原理	(214)
7.4.2	手机电池充电器模糊控制的系统原理框图	(215)
7.4.3	充电控制原理	(215)
7.4.4	控制软件	(217)
7.5	模糊洗衣机	(218)
7.5.1	洗衣机除污的因素及洗涤方式	(219)
7.5.2	模糊洗衣机控制系统电路	(221)
7.5.3	衣物量、衣质以及水位水温的测定	(224)
7.5.4	模糊洗衣机的模糊推理及控制软件	(228)
7.6	模糊吸尘器	(230)
7.6.1	模糊吸尘机的结构及控制电路	(230)
7.6.2	模糊吸尘机的模糊推理	(233)
7.6.3	控制软件及控制效果	(237)
参考文献		(239)

第一章 模糊逻辑与模糊家用电器的发展

1.1 人类思维的模糊性

人类在长期的生活中，很少注意到自身的智能形式。如果人们稍微细心地想一下，就可以发现：在一天的 24 个小时中，人们进行精确计算和精确思维的时间极少，大多数时间人们是处于模糊思维的过程之中。在早上，人们醒来的第一个想法是，今天天气是冷还是热；吃饭时就会感到是饿还是饱，是有点饱还是很饱；工作时间长了，就会考虑是否困了，还是有点累，亦或是精神百倍。很明显，“冷”、“热”、“饿”、“饱”、“累”等等都是无法用精确的数字表示的，它们都是模糊概念。可以说，模糊思维组成了人们绝大多数生活过程。

当人们用手拿一个鸡蛋时，究竟需要多大的力气，这是不用进行精确计算的。人们只根据手的触觉等感觉，自动地收紧或放松手指到某种程度，就可以恰如其分地拿住鸡蛋，既不会把它捏碎，也不会掉下。

天气冷时，人们会多穿一些衣服，但是究竟穿多少是无法定量的。人们只根据自身的感觉穿衣服，使自己不会感到冷，但又不会出汗。

人们之间的关系也是具有模糊性的。如果说张三和李四是好朋友，那么，这个“好”是什么程度呢？谁也无法说清楚，恐怕连他们自己也无法表述。

人们对事物的判别也是带模糊性的。人们评价这个人长得美，那么“美”到什么程度？用什么方法或标准去衡量呢？显然很难找到一个答案。而所谓“胖子”、“高个子”、“瘦子”、“丑”、“恶”、“强壮”等，都是一些模糊性评语。

人们对事物的认知本身就是模糊的。如果要求一个小孩描述他父亲的形象，很明显他无法用确切的数字进行描述。他不会说我父亲身高 1.783 2 m，体重 73.21 kg，头发 16 789 根，胡子 0.987 6 cm……但是，他总能识别出他的父亲。这不但说明人的认知有模糊性，而且还告诉人们一个客观事实：模糊性的认识可以准确地判别一个事物。

在世界上，人们所遇到的总是模糊的事物居多。人的一生被分成婴儿、儿童、少年、青年、成年、壮年、老年；但是，这些阶段是有很明确的边界的，人们会发觉有的人可以属于少年也可以属于青年，即这种阶段概念也是模糊的。人们受表彰时，会分优秀、良好等，这些级别也是模糊的，它们没有明显的分界线。吃东西时，对食物的味道分“好吃”、“较好吃”、“一般”等，其概念也是模糊的……既然模糊性事物在客观上占主流，而人们也是处理模糊性事物的时间居多，那么，研究和应用模糊处理也是理所当然的。

1.2 模糊逻辑的产生和发展

模糊逻辑是英文“Fuzzy Logic”的中文译意，是指模糊数学诞生之后而产生的一种新的逻辑系统。

以往的逻辑学是指传统逻辑和数理逻辑。传统逻辑是指亚里士多德所创立的古典形式逻辑；数理逻辑则是由数学家兼哲学家莱布尼茨始创的逻辑。在数理逻辑中，人们较为清楚的是二值逻辑，也就是布尔逻辑。

1965年，美国加州大学的自动控制理论专家 L. A. Zadeh 提出了模糊集合论，从而开创了模糊逻辑的历史。

在人类发展史中，社会活动的计数结果产生了精确数学。精确数学一般用微分方程来描述自然界的某些规律和系统。但是，自然界的各种规律和系统所涉及的因素极多，条件也时常发生变化，用微分方程描述这些系统显得十分不足。而且，有的微分方程也十分难以求解，况且有的系统根本无法用微分方程描述。因此，精确数学已显得无法应付日益发展的人类社会了。

社会发展需要对各种学科，例如心理学、生物学、文学、语言学和社会科学等存在的问题进行求解。这就需要对这些问题进行量化和数学化。但是，这些学科的问题基本上是具有模糊性的，如语言的“流畅”、心理的“健康”、文学的“通俗”、生物的“进化”都是模糊概念。这些很明显是无法用精确数学进行定量分析的。在一切科学中，人类智能是首推重要的。人类思维就具有计算精确性和推理模糊性的特点。控制论的鼻祖维纳就十分明确地指出：“人具有运用模糊概念的能力。”实际上，人类在社会中运用精确性计算的几率并不高；相反，运用模糊性概念的机会则极多。一个人早晨一起床就要考虑天气的“冷暖”，上班时要考虑道路和交通的“顺畅”或“阻塞”，工作时要考虑“快慢”，吃饭时要考虑“味道的好坏”……这些具有模糊概念和性质的问题，采用精确数学的方法是无法解决的。

为此，人们就只好另辟新的途径，找寻一种新的数学工具以解决模糊问题。这样，不可避免地产生一种与精确数学完全不同的数学——模糊数学。

自从 L. A. Zadeh 在 1965 年发表了《Fuzzy Set》论文开创模糊数学历史以来，模糊逻辑得到了迅速发展。Zadeh 提出了一个表示事物模糊性的重要概念——隶属函数。这个概念是模糊逻辑的关键。通过隶属函数，人们才可以对所有的模糊事物和问题进行定量表示和分析。

模糊数学是一种解决模糊问题的数学工具。它不是模模糊糊的数学，也不是把精确的东西搞得模模糊糊的数学。正好相反，模糊数学用隶属函数恰当地描述事物的模糊性，从而把具有模糊现象和模糊概念的事物处理成精确的东西，从而使人们可以得到明确清晰的结果。

模糊逻辑是模糊数学的一个分支学科，它在模糊控制、模糊语言、模糊计算机等有关领域都有着极大的应用价值和前景。人们目前较为熟悉的是布尔逻辑，也就是二值逻辑。这种二值逻辑是数字计算机的基础。在二值逻辑中，只有“0”和“1”两种逻辑值。在这种逻辑系统中，逻辑值非“1”即“0”，绝无其他值。模糊逻辑和二值逻辑不同，它是一种连续逻辑。在模糊逻辑中，逻辑值可以取 $[0, 1]$ 区间中的任何数。因此，模糊逻辑是二值逻辑的扩展，而二值逻辑则是模糊逻辑的特殊情况。所以，模糊逻辑有着普遍意义。

1965年，Zadeh 发表了《Fuzzy Set》之后，到 1966 年，Marines 发表了模糊逻辑的研究报告。后来，Zadeh 又提出了模糊语言变量这个重要的模糊逻辑概念。到了 1974 年，Zadeh 又进行模糊逻辑推理的研究。从此，模糊逻辑就成为人们研究的热门课题。

1974 年，英国的 Mamdani 首次用模糊逻辑和模糊推理实现对蒸汽机的自动控制，并且取得了比直接数字控制更好的控制效果。这次控制的成功标志着人们采用模糊逻辑进行工业

控制的开始,从而宣告模糊控制的诞生。

此后,荷兰、丹麦、英国等国的自动控制人员也开始尝试用模糊控制方法对热交换器、原料燃结、炼钢转炉、化学反应器、水泥回转窑、十字路口的交通等进行控制,并且取得了令人满意的效果。

1979年,中国的研究人员也对模糊控制器进行了研究,并且在模糊控制器的定义、性能、算法、鲁棒性、电路实现方法、稳定性、规则自调整等方面取得了大量的成果。

1980年,世界上第一个模糊集成电路由日本熊本大学的山川烈试制成功。1985年,美国的AT&T贝尔研究所试制出了能执行模糊推理的集成电路。1989年,美国北卡罗莱纳州微电子中心和德州仪器公司生产出58万FLIPS的模糊集成电路。同时,美国TIL公司开发出FC110模糊推理集成电路,以这种集成电路为核心的模糊推理加速插件也试制成功,并可用于IBM微机系统。1991年,美国的Neuralogix公司把多种模糊集成电路投入市场,其中最引人注目的是模糊控制器NLX230,它是一个模糊单片机。NLX230投入市场标志着模糊单片机已进入实用阶段。

一、模糊控制理论和技术现状

模糊控制理论需要解决的系统方法有:人的知识和经验的表达、知识推理的法则、人的知识的获取和总结、模糊控制系统和稳定判据、模糊控制系统的学习、模糊控制系统的分析及模糊控制系统的设计等。

目前,各国学者提出的模糊推理方法不下几十种,但还没有一种方法能在各方面都表现出最大的合理性。虽然在研究模糊控制系统的稳定性方面取得了一定成果,但稳定性理论还很不完善,有的稳定性判别还在走传统的精确系统的李雅普诺夫准则的老路,未能建立全新的方法。有的虽然已利用模糊理论对单输入单输出系统建立稳定性判别条件,但多输入系统的稳定问题尚未解决。至于模糊学习、系统分析和系统设计,基本上还没有一套合理而完整的理论方法。

模糊控制技术需要解决的具体问题有:模糊控制器的构造、模糊信息与精确信息转换的物理结构和方法、模糊控制器对外界环境的适应性及适应技术、实现模糊控制系统的软技术、模糊控制器和被控对象的匹配技术等。

模糊控制技术所要解决的是实际中的具体问题,并已取得了出人意料的成功。

模糊控制器的构造目前已有三种不同的技术:第一种是采用传统的数字单片机或微型机作为物理基础,这种模糊控制器需要相应的软件才算构造完毕;第二种是用模糊单片机或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;第三种是采用可编程门阵列构造模糊控制器,这主要是构造控制表,所以事先要进行脱机处理,形成描述模糊控制器的控制表。

模糊信息与精确信息转换的问题,目前基本采用A/D、D/A转换和软件相结合的方法。其中,无须软件介入,A/D和D/A转换也可以作为模糊信息与精确信息的转换器件和方法之一。模糊控制器对外界的适应性问题目前还没有一种专门的、良好的技术,大多还是沿用传统的技术,或者依赖于集成电路本身的工艺水准。

实现模糊控制系统的软件技术包括对系统的仿真和实际工作软件等。目前,已有多种仿真系统出现, Motorola、富士通、NEC、Neuralogix 和国家半导体公司等都有相应的系统产品。不过,这些产品也有尚待提高的地方。国内清华大学、广东工业大学也开发出了模糊推

理机的有关软件和仿真系统。

模糊控制器和被控对象匹配技术目前仍依赖于人们的经验；模糊理论中关于模糊模型的问题还有待深入研究。所以，在这种匹配技术中，人为的因素起着较大作用。

二、模糊控制的特点

模糊控制在短短 20 年中取得了令人瞩目的成果。这主要在于它有一些十分明显的特点：

(1) 无须知道被控系统的数学模型。模糊控制是以人对被控系统的控制经验为依据而设计控制器的，故无须知道被控系统的数学模型。

(2) 是一种反映人类智慧思维的智能控制。模糊控制采用人类思维中的模糊量，如“高”、“中”、“低”、“大”、“小”等，控制量由模糊推理导出。这些模糊量和模糊推理是人类智能活动的体现。

(3) 易为人们所接受。模糊控制的核心是控制规则，这些规则是以人类语言表达的，例如“衣服较脏，则投入洗涤剂较多，洗涤时间较长”，这是洗衣服时的控制规则。很明显，易为一般人所接受和理解。

(4) 容易构造。如果用微型机系统或单片机来构造模糊控制系统，其结构和一般数学控制系统无异，模糊控制方法是用软件实现的。如果用模糊单片机构造模糊控制系统则更为方便，基本上只要给模糊单片机设置好数据就可以了。

(5) 适应性好。模糊控制系统无论被控对象是线性还是非线性的，都能执行有效的控制，具有良好的鲁棒性和适应性。

三、模糊控制的发展趋向

根据目前的情况，模糊控制将在理论研究、方法技术、系统结构三个方面得到进一步发展。

1. 理论研究

目前，人们正在探讨及研究的问题是：隶属函数的最优化问题，包括形状优化及个数优化问题；控制规则的优化问题，包括控制规则中零件优化、系数优化、控制规则条数优化；隶属函数及控制规则的学习及自动生成问题；量化准则、量化水平及采样周期优化稳定选择问题。模糊控制系统的稳定性判据、稳定性分析和稳定性评价方法，也是人们不断寻求解决的问题。模糊控制器的参数最优化理论、自学习和自适应方法也是热门研究课题。模糊模型的辨识方法和模糊模型的优化问题是一个人们日益重视的问题。模糊控制和神经网络相结合是目前研究较多的时尚课题。上述问题都在不同程度上取得了一定的成果。例如：Mikio Maeda 等提出的对控制规则进行校正的实时学习校正法；Takagi 等提出的李雅普诺夫直接法判别模糊控制系统稳定性的方法；陈建勤等人提出的用模糊集理论对系统的稳定性判别方法等。但所有的问题都未能全面解决，还须进一步研究。

2. 方法技术

对实现模糊控制而言，重要的是模糊控制器的形式。目前，有多种模糊控制构成方法和技术，最基本的是三维模糊控制器，它的输入只考虑偏差以及偏差变化率。新的结构有四维模糊控制器，它有两种不同的形式：一种是考虑以输入为偏差、偏差变化率和偏差二阶变化率的控制器；另一种是考虑以输入为偏差、偏差积分和偏差变化率的控制器。此外，还有模糊 PID 控制器、施密斯模糊控制器、变结构模糊控制器等。

自适应、自学习模糊控制器是目前模糊控制技术发展的一个重要方向。在这类控制器

中, 对比例因子进行自调整的模糊控制器在实际应用中取得了较好的效果。

Takagi 等人提出了模糊模型的识别方法和根据模糊模型产生控制器的控制规则。这是一种十分吸引人的方法。这种方法隐含着以模型为依据的控制器的自动生成。胡少华等人则提出了根据系统的输入输出数据建立对象的模型, 并以此来自动生成控制器的模糊控制规则。

C. James. Li 等人提出了基于 PI 积分器的自学习模糊控制器。也有人利用 R. H. Middleton 等人提出的机器人重复控制方法组成了自学习模糊控制系统。

新型的模糊控制也是今天人们研究的重点。新型模糊控制基本是建立在模糊控制和其他控制技术基础上的。目前, 涉及较多的有模糊预测控制、专家模糊控制、模糊神经网络控制等。

模糊预测控制是把模糊控制技术与预测控制技术相结合的一种复合型控制技术。预测控制对控制的效果进行预估, 而模糊控制则执行对被控制对象的控制。

专家模糊控制则是把专家系统技术和模糊控制技术结合在一起。它可以用基于专家系统得出的模糊控制规则执行控制, 也可以用模糊方法建立专家系统而执行控制。专家模糊控制在本质上是人工智能与模糊控制相结合的一种结果。

模糊神经网络控制有时也简称为模糊神经控制, 它把模糊控制和神经网络结合在一起, 这也是人们目前最感兴趣的方向。模糊神经网络控制主要有两个方向: 一个是用神经网络实现模糊控制规则, 另一个是用模糊规则来描述神经网络的权系数。

最值得注意的是: 加拿大 Manitoba 大学的 W. Pedrycz 在 1993 年提出的模糊神经元概念, 并以此为基础提出了对模糊控制器、模糊决策、模糊量表达等问题的解决方法。

1994 年, 加拿大 Saskatchewan 大学的 M. M. Gupta 等人也提出了模糊神经结构, 并给出了基于偏差和基于输出的学习方法。在模糊神经网络控制技术中, 较多采用的是梯度算法或 BP 算法。但是目前人们对遗传法给予高度的重视, 并以其对控制规则进行自调整。

在神经网络中, 除了 BP 网之外, 还有人用 ART1 网以及 Kohonen 网与模糊控制相结合进行研究。模糊神经网络控制的关键问题仍然是权系数优化的问题。如果在算法速度上得不到解决, 在实时控制中的意义将会荡然无存。所以, 目前人们都在为此而努力。一种好的技术, 不在它的描述是否美妙, 而在于它的客观应用效果。实用可行的技术应是模糊神经网络控制必须高度重视的问题。

3. 系统结构

模糊控制系统结构和传统控制系统并无本质的区别, 它们之间的区别仅在于控制器的不同。模糊控制器的物理构成一直是人们努力解决的问题。用微机或单片机构造模糊控制器时, 模糊控制器的功能主要是通过软件来实现的。这也是目前模糊控制器的主要实现方法。

从 1985 年起, 人们就探索用硬件直接构造模糊控制器。M. Togai 等人用大规模集成电路组成了一个模糊控制器, 它可以执行 8 万条/s 模糊逻辑推理。1990 年, H. Watanabe 等人开发了一种大规模集成电路模糊控制器, 其速度为执行 58 万条/s 模糊逻辑推理。

模糊控制器一般采用控制表实现模糊控制功能。1989 年, M. A. Manzoul 采用可编程逻辑阵列 PLA 实现了模糊控制器。1990 年, S. Tayal 用 ROM 构成了模糊控制器, 从而展示了另一种可行的途径。1991 年, M. A. Manzoul 等人干脆用组合电路实现模糊控制器。同年年底, D. Jayabbarathi 提出了用可编程门阵列构造模糊控制器。1993 年完成了用 Xilinx 公司的

XC3000 系列芯片构造模糊控制器的实际工作。模糊控制器的构造思想是基于描述模糊控制的布尔方程的。

采用 XC3020PC68 可编程门阵列芯片构成的模糊控制器,对于单输入单输出系统来说,如果模糊划分为 4 档,则速度为 6 000 万条/s 模糊推理;如果模糊划分为 32 档,则速度为 2 200 万条/s 模糊推理。采用 XC3030PC84 芯片构成的两输入单输出系统,在模糊划分为 4 档时,速度为 5 000 万条/s 模糊推理;在划分为 16 档时,速度为 900 万条/s 模糊推理。

1992 年,美国 Neuralogix 公司推出了模糊单片机 NLX230 系列。该系列单片机可以执行模糊化、反模糊化和模糊推理等一系列工作,是一种完整的模糊控制器。其速度为执行 3 000 万条/s 模糊推理;内部可用数据设定隶属函数、推理规则、反模糊化方法等。1993 年,该公司又推出了改进的新一代模糊单片机系列 NLX22X。这个系列内部含有 A/D、D/A 转换器,隶属函数种类较多,引脚减少到 28 个,因而更适合于实际应用。

日本富士通公司 1993 年推出了模糊单片机 MB94140 系列。它的结构较为特别,内部是数字单片机与模糊推理机相结合,并且含有利于控制的 I/O 接口部件。这个系列模糊单片机采用 Max - Min 推理法,允许模糊量为 64 个,模糊划分为 16 档,反模糊化用重心法,芯片引脚为 64 条。

采用模糊单片机构成模糊控制器是目前最有效的方法。它具有容易实现、灵活性好、开发方便、开发时间较短等一系列优点,将是今后的主要研究方向。

1.3 单片机与模糊控制

单片机是电子计算机这个庞大家庭中的一个特殊品种,它的特点就是体积小,内部含有多种外围接口部件,十分适用于专门的控制用途。和一般的微型机、小型机、中型机、大型机相比,它的内存容量、速度、软件系统都大为逊色。但是,单片机是“麻雀虽小,五脏俱全”,电子计算机的基本功能它都具有。所以,它在家用电器、智能仪器、各种移动性的自动化设备、便携式通讯设备和工具等场合尽显风骚,而大、中、小、微型机是难以介入这些场合的。自从模糊控制这种新颖的控制方法问世以来,其实用性已受到世人的公认。人们不得不表示:模糊控制是现存的三种智能控制,即人工智能、模糊控制、神经网络这三种控制方法中最具现实价值的控制方法。其原因在于人工智能的方法是建立在传统逻辑的基础上,所以,它目前处于各种困境而实际进展十分缓慢。神经网络由于权系数学习的实时性尚是一个十分难以解决的问题,所以,理论上的进步和技术上的实用仍有较大的距离。只有模糊控制不存在上述问题,而且其控制在本质上的非线性使得它在各种控制目的中取得出人意料的功效。

模糊控制技术的实现目前是以单片机为物理基础的,这是新技术发展的一种必然结果。用单片机执行模糊控制也有一套技术方法,这些都是与目前世界上科学技术发展的水平相对应的。

1.3.1 单片机和模糊控制相结合的原因

模糊控制是在 20 世纪 60 年代末到 70 年代中期开始崛起的一种新兴技术。这一段时间正是微型计算机处于萌芽的年代。可以说,模糊控制这种方法和微型机这种工具科学技术

在当时破土而出的科技新苗。微型机的单片化之后产生了单片机，这也是 70 年代中期的事。模糊控制在诞生后，就是依赖于微型机这种工具而不断发展的。在实际应用中，这种控制技术要想深入到家庭和人们的日常生活，就不可避免地采用单片机。

一、模糊控制的实际应用

模糊控制目前在实际应用中已形成了一种产业化的趋向，应用最广、最多的是家用电器行业。目前，模糊电饭煲、模糊洗衣机、模糊空调机、模糊吸尘机、模糊电热水瓶、模糊干衣机、模糊电烤炉、模糊面包机、模糊电磁炉、模糊微波炉、模糊电冰箱、模糊抽湿机、模糊洗碗机、模糊电视机、模糊摄像机、模糊照相机等家用电器的发展速度极快，一个厂年产量可达数十万。因此，模糊控制技术的市场十分广泛。从来也没有一种控制技术应用如此之多、产业化的趋向如此明显和强烈。

除了在家用电器方面的应用之外，在智能化仪器，如测氧、测湿、测温、测压等仪器中也大量使用模糊控制技术。在汽车工业、制糖工业、水泥工业、石油化工工业、机械制造业、陶瓷工业、塑料制品工业等也都采用模糊控制技术。

模糊控制的广泛应用有多种原因，其中最关键的有如下几个：

1. 被控对象的复杂性

与人类生活密切相关的家用电器等被控对象较为复杂，在实际中有的很难用数学模型来描述。例如洗衣机，它的工作过程是无法用一个完整的数学模型来表示的。它既有逻辑的顺序执行性，又有闭环环节的调节性，还有多种单纯的开关过程。特别是布质、布量的判别不能用传感器直接执行。同样，电饭锅的工作过程也是难以用数学模型描述的，因为电饭锅的结构和生产工艺本身不但有偏差和非一致性，而且电饭锅本身就难以用一个数学模型进行描述。这种复杂对象用模糊规则表示则是简便和容易的事。实际上，用模糊规则表示各种非线性性和不确定系统正是模糊控制的长处。

2. 模糊控制的易用性

无论在家用电器、工业控制、智能仪器，还是在各种设备中，由于模糊控制可以先用一个粗糙的控制规则库进行控制，然后再通过自组织的寻优过程产生优化的控制规则库，最终取得优良的控制效果。模糊控制是基于控制规则库的，而规则库的组织过程可以用对控制表的校正过程来实现，从而使模糊控制有良好的易用性。特别需要指出的是：模糊控制对系统的参数变化是不敏感的，这一点有着特别的优势。

3. 物理基础的可实现性

目前，由于微型机的发展，特别是单片机的诞生，给模糊控制提供了最基本的物理基础。这种物理基础使得系统能组成体积小而环境适应性好的结构。更重要的是，以这种物理基础加上对应的软件就能实现实质的模糊系统。软件可以适宜地描述隶属函数、控制规则，并执行有关模糊推理过程。这就使模糊控制这样一种技术形式转化为一种物理的控制系统。

这些重要原因，使得模糊控制不仅在实际应用中是可行的，而且十分便于实现。

二、单片机对模糊控制的适应性

单片机是一种十分特别的集成电路，它不但内部含有控制器、运算器、存储器，还含有大量的接口部件。这种特点使得它成了一个十分有用的控制器件。所以，现在人们一般都把单片机称为微控制器（Microcontroller）。

单片机用于执行模糊控制有以下优点：