

单片机 智能控制技术

DANPIANJI ZHINENG KONGZHI JISHU

刘建辉 冀常鹏 等编著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

单片机 智能控制技术

张耀耀 周文强 周树刚



清华大学出版社
Tsinghua University Press

TP368.1
193
12

单片机智能控制技术

刘建辉 冀常鹏 徐光宪
包剑 张权贵 刘超 叶静 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书从模糊控制技术的角度出发,系统、全面地介绍了模糊控制的数学基础、模糊控制理论以及模糊控制器的设计原理,并在此基础上较为详尽地阐述了家用电器模糊控制器设计步骤与开发工具和洗衣机、电饭锅、微波炉等其他模糊家用电器以及工业智能控制的设计原理。

全书共分为两部分。第一部分为模糊控制基础及模糊家电控制器设计与开发。第二部分为工业智能控制设备设计与应用。最后介绍了用 MCS-51 单片机来控制以太网控制芯片 RTL8019AS 实现以太网通信技术。

本书内容新颖,实例丰富,兼顾了教学、科研和生产设计的需要。因此可操作性强,适宜作为高等学校相关专业教材或教学参考书,亦可作为从事家用电器生产、设计的工程技术人员自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机智能控制技术/刘建辉等编著. —北京:国防工业出版社,2007.4

ISBN 978-7-118-04946-6

I. 单... II. 刘... III. 单片微型计算机—智能控制 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 003158 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22¼ 字数 578 千字

2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

一个多世纪以来,许多科学家和思想家一直致力于人类大脑的构筑函数和运行机制的研究,试图将人类的思维方法装入机器,这就是人工智能。人工智能的出现,开辟了自动控制领域的新时代,模糊控制技术就是人工智能的重要分支。

自从 L. A. Zadeh 于 1973 年提出基于模糊关系的合成推理之后,模糊推理技术成了模糊逻辑研究的一个主要内容。许多新的模糊推理方法不断出现,并应用于各种过程控制的设计之中。以模糊推理为核心的控制方法称为模糊控制,世界上第一个模糊控制器就是以模糊合成推理为核心进行设计的。同时,对于那些不易建立数学模型的控制对象,可以把模糊控制规则储存起来,并依此建立一种推理算法去模拟人的行为而实施控制。因此,模糊控制技术的这种特点,不仅适合于复杂对象的非线性控制,并且特别适合于家用电器智能化。

近年来,日本在开发模糊家用电器方面,做出了很多卓有成效的工作,引起了世界各国的极大关注,模糊家用电器已悄然兴起。

我国的模糊数学理论研究居世界先进行列,与美国、日本、西欧并列为世界模糊理论研究的四大支柱。但是,在我国模糊控制技术的应用尚不够广泛,尤其是家用电器模糊控制技术亟待开发。为此,我们编写了《单片机智能控制技术》一书。

本书理论及实践性很强,实例较为丰富,适合于不同层次的读者。

本书由刘建辉担任主编并编写第 1、2、3 章及附录,冀常鹏任副主编并编写第 4、5、8 章,徐光宪任副主编编写第 6、7 章,包剑编写第 10、11 章,张权贵编写第 9 章,刘超编写第 12 章,叶静编写第 13 章,最后由刘建辉教授统编全稿并审校。

值得提出的是,目前模糊控制技术的研究受到了国家的高度重视。本书在编写过程中受到了国家星火计划项目和辽宁省自然科学基金项目的资助,在此深表谢意。

限于编者水平,书中难免存在不当之处,望读者不吝赐教。

编著者
于 2006 年深秋

目 录

序 篇

第 1 章 模糊控制基础	1
1.1 模糊数学的基本概念	1
1.1.1 模糊集合	1
1.1.2 隶属函数	1
1.1.3 模糊关系	2
1.1.4 模糊变换	3
1.2 模糊自动控制原理	5
1.2.1 模糊控制工作原理	6
1.2.2 输入变量处理	7
1.2.3 模糊控制规则及推理	8
1.2.4 输出量的精确化	9
1.3 模糊控制系统	10
1.3.1 模糊控制系统的结构	10
1.3.2 模糊控制表	11
1.3.3 模糊控制器的数学模型	13
1.3.4 模糊控制系统的稳定性	14
1.4 自组织模糊控制方法	15
1.4.1 自组织模糊控制的基本思想	16
1.4.2 控制规则的单因子自调整	17
1.4.3 控制规则的多因子自调整	19
1.4.4 控制规则自寻优	20

上篇 智能家电

第 2 章 家电模糊控制器设计	22
2.1 家电模糊控制器的设计步骤	22
2.1.1 控制目标的确定	22
2.1.2 被测参数的选择	22
2.1.3 输入输出变量模糊化	23
2.1.4 模糊控制规划与模糊控制决策的确定	24
2.2 家电模糊控制器实现方案	26
2.2.1 通用型数字单片机模糊控制器	26
2.2.2 微控制单元模糊控制器	27

2.2.3	单片模糊控制器	28
2.2.4	家电模糊控制器各种设计方案评价	29
2.3	家电模糊控制器软件开发工具	30
2.3.1	通用型数字单片机模糊软件开发系统	30
2.3.2	模糊单片机 FMC 开发系统	34
2.3.3	其他模糊系统开发工具	37
第 3 章	洗衣机模糊控制设计	39
3.1	洗衣机模糊控制器硬件设计原理	39
3.1.1	模糊洗衣机及其模糊控制器	39
3.1.2	洗衣机模糊控制器与普通程序控制器的异同	40
3.1.3	洗衣机模糊控制器设计方案选择	40
3.1.4	洗衣机模糊控制器硬件组成原理	41
3.1.5	模糊洗衣机的工作过程	43
3.2	模糊洗衣机物理量检测	45
3.2.1	污浊度传感器	45
3.2.2	水位传感器	46
3.2.3	衣量传感器	47
3.2.4	布质传感器	48
3.2.5	水温传感器	48
3.3	模糊洗衣机的模糊推理	49
3.3.1	模糊推理规则的建立	49
3.3.2	模糊推理的原则	50
3.4	模糊洗衣机控制软件设计	51
3.4.1	键盘及显示软件设计流程	51
3.4.2	模糊控制器软件设计流程	53
第 4 章	模糊电饭锅设计	56
4.1	电饭锅控制技术的发展	56
4.1.1	普通电饭锅工作原理	56
4.1.2	模糊电饭锅的提出	57
4.2	电饭锅模糊控制器设计原理	58
4.2.1	模糊电饭锅的特点	58
4.2.2	电饭锅模糊控制器硬件构成	59
4.2.3	模糊电饭锅工作原理	61
4.3	电饭锅模糊控制器接口设计	62
4.3.1	直流电源设计	62
4.3.2	温度传感器	65
4.3.3	加热器控制电路设计	68
4.3.4	单片机接口原理	72
4.4	模糊电饭锅控制软件设计	76
4.4.1	电饭锅的模糊控制算法	76
4.4.2	模糊电饭锅控制软件设计	79

第5章 模糊微波炉设计	80
5.1 微波炉控制技术的发展	80
5.1.1 普及型微波炉工作原理	80
5.1.2 模糊微波炉的提出	82
5.2 微波炉模糊控制器的设计原理	82
5.2.1 MC6805MPU 主要技术参数	82
5.2.2 微波炉模糊控制器硬件原理	83
5.2.3 模糊控制器接口设计	85
5.3 模糊微波炉控制软件设计	93
5.3.1 微波炉模糊控制算法	93
5.3.2 微波炉模糊控制程序设计	96
第6章 其他模糊家电设计原理	99
6.1 概述	99
6.2 模糊电冰箱	99
6.2.1 普通电冰箱的结构及工作原理	99
6.2.2 模糊电冰箱的特点	100
6.2.3 电冰箱模糊控制器设计	100
6.2.4 模糊控制机理	103
6.2.5 控制程序设计	104
6.3 模糊吸尘器	105
6.3.1 概述	105
6.3.2 模糊吸尘器中的单片机	106
6.3.3 模糊吸尘器电路结构	107
6.3.4 模糊吸尘器控制软件结构	108
6.4 电烤箱控制系统	109
6.4.1 模糊集合控制系统结构	110
6.4.2 模糊控制原理	110
6.4.3 控制电路及其工作原理	110
6.4.4 控制软件及其流程	113
6.4.5 电烤箱控制面板说明	113
6.5 其他模糊家电简介	114
6.5.1 模糊空调机	114
6.5.2 模糊摄像机	116
6.5.3 模糊淋浴器	119

下篇 工业智能控制

第7章 模糊控制芯片与神经网络	123
7.1 模糊控制软件开发工具与模糊控制芯片	123
7.1.1 模糊控制软件的开发工具	123
7.1.2 模糊控制芯片	128
7.2 神经网络在单片机中的实现	143

7.2.1	器件和原理	144
7.2.2	程序设计	146
第8章	汽车发动机喷油智能控制器设计	151
8.1	概述	151
8.1.1	研究背景	151
8.1.2	国内外车用汽油机电控的研究与发展	151
8.2	电控燃油喷射系统	152
8.2.1	系统分类	152
8.2.2	系统组成	153
8.2.3	电子控制系统	157
8.2.4	点火系统	160
8.3	ECU 仿真测试平台的设计	162
8.3.1	引言	162
8.3.2	ECU 仿真测试方案	163
8.3.3	水温、空气电阻及节气门位置模拟电路	164
8.3.4	传感器信号产生及总体程序设计	167
8.3.5	曲轴位置传感器模拟电路	167
8.3.6	进气压力及氧传感器模拟电路	169
8.3.7	电压转换保持电路	172
8.3.8	ECU 输出数据采集电路	173
第9章	小区集中供热温度监测系统	180
9.1	系统概述	180
9.2	系统组成及工作原理	180
9.3	远程监测系统下位机的硬件设计	181
9.4	程序设计	186
第10章	单片机在智能控制系统中的应用	199
10.1	智能型即热式热水器控制实例	199
10.1.1	控制电路和工作原理	199
10.1.2	控制规则简介	199
10.1.3	程序设计	201
10.2	单片机在啤酒发酵过程中的应用	208
10.2.1	概述	208
10.2.2	控制系统的组成和功能	209
10.3	AOHC-I 型智能油加热器控制器	212
10.3.1	概述	212
10.3.2	智能控制系统设计	214
10.3.3	智能控制方法	219
10.3.4	软件设计	221
10.3.5	安装与操作步骤	257
10.4	PHG-A 电解水氢气发生器智能控制器	259
10.4.1	概述	259

10.4.2	控制系统设计	260
10.4.3	控制方法	262
10.4.4	软件设计	263
第 11 章	基于 PIC16F84 单片机的 IC 卡智能水表	265
11.1	IC 卡智能水表方案的确定	265
11.1.1	IC 卡智能水表	265
11.1.2	IC 卡智能水表方案	266
11.2	IC 卡智能水表的硬件设计	269
11.2.1	IC 卡智能水表的电原理图	269
11.2.2	电路分析及其说明	269
11.3	IC 卡智能水表的软件设计	271
11.3.1	IC 卡智能水表的软件框架	271
11.3.2	IC 卡智能水表程序设计	272
第 12 章	电喷汽车喷油嘴清洗机	283
12.1	系统功能描述及工作原理	283
12.1.1	系统功能描述	283
12.1.2	电喷汽车喷油嘴清洗机的工作原理	283
12.2	系统方案及电路设计	284
12.2.1	系统方案	284
12.2.2	PWM 波调制原理	284
12.2.3	PWM 脉冲驱动电机的实现过程	285
12.2.4	AT89S51 单片机的功能特点	286
12.2.5	电路设计	286
12.3	程序设计	288
12.3.1	主程序设计	288
12.3.2	变量定义及初始化模块	288
12.3.3	调宽脉冲输出子程序模块	290
12.3.4	完整代码	290
12.4	调试应用	304
12.4.1	安全注意事项	304
12.4.2	功能调试	304
12.4.3	日常维护	305
第 13 章	以太网应用	306
13.1	以太网协议	306
13.2	RTL8019AS 以太网控制器	307
13.2.1	主要性能	307
13.2.2	内部结构	307
13.2.3	内部 RAM 地址空间分配	308
13.2.4	I/O 地址分配	308
13.3	接口电路设计	308
13.3.1	8052 与 RTL8019AS 的接口电路	308

13.3.2	RTL8019AS 与 93C46 的连接	311
13.3.3	80C52 与存储器 62256 连接	312
13.3.4	以太网接口	313
13.4	程序设计	313
13.4.1	复位 RTL8019AS	313
13.4.2	RTL8019AS 的检测和初始化	313
13.4.3	RTL8019AS 的数据接收过程	316
13.4.4	接收缓冲环溢出处理	317
13.4.5	网卡的数据发送过程	321
13.5	程序设计实例	323
13.5.1	实现 ARP 协议	323
13.5.2	ARP 协议的处理过程	323
13.6	应用三线制 Microware 串行总线 93C46	325
13.6.1	三线制串行总线	325
13.6.2	三线制 Microware 总线的 EEPROM	325
13.6.3	93C46 应用	326
参考文献		337
附录 1 MCS-51 系列单片机的指令表		338
附录 2 单片机 MCS-51 系列指令快速记忆法		342

序 篇

第 1 章 模糊控制基础

1965 年, 美国的 L.A.Zadeh 最早提出用模糊集合(Fuzzy Sets)来描述具有模糊概念和性质的问题, 开创了模糊逻辑的历史。1974 年, 英国的麦丹尼首次用模糊逻辑和推理实现了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。从此, 模糊控制技术在工业上得到了广泛的应用。

1979 年, 中国开始了模糊控制器的研究, 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成果。同时, 运用模糊控制技术, 在人工智能领域, 如家用电器的模糊控制和工业应用智能仪表等方面取得了良好效果。

1.1 模糊数学的基本概念

1.1.1 模糊集合

在普通集合理论中, 集合是以特征函数表示的。对于一个集合 A , 其特征函数可表示为 $\lambda_A(X)$, 其中 λ 表示特征函数, A 表示集合, X 表示集合的元素。并且有

$$\lambda_A(X) = \begin{cases} 1, & X \text{ 属于集合 } A \text{ 时} \\ 0, & X \text{ 不属于集合 } A \text{ 时} \end{cases} \quad (1-1)$$

非常明显, 普通集合的特征函数只取 0, 1 这两个值。当元素 X 属于集合 A 时, 特征函数 $\lambda_A(X)$ 取值为“1”; 当元素不属于集合 A 时, $\lambda_A(X)$ 取值为“0”。因此, 普通集合的取值和二值逻辑是相对应的, 可以用布尔逻辑法则来执行运算。

普通集合是有某种明确概念和边界的事物的总和。所以, 用二值逻辑表示是恰当的。例如, “一年级学生”是一个集合, 这个概念十分清晰, 边界十分明确。就某一个学生而言, 他只能是属于“一年级学生”这个集合, 或者是不属于“一年级学生”这个集合。

模糊集合是指不同程度的具有某种特征的事物的总和, 因此不能用二值逻辑表示。例如, “胖子”是一个集合, 这个概念十分模糊, 界限也不清晰。有的人, 可能稍胖, 也有可能很胖, 或者特别胖; 但根本不可能绝对的说他是胖还是瘦, 这里只是胖的程度不同而已。

1.1.2 隶属函数

为了表示模糊集合, 引入隶属函数这个概念。

对于一个模糊集合 A , 元素 a 属于模糊集合 A 的程度称为 a 对模糊集合 A 的隶属度, 并表示为 $\mu_A(a)$, 满足条件

$$0 \leq \mu_{\underline{A}}(a) \leq 1 \quad (1-2)$$

如果用 x 表示模糊集合 $\underline{A}$ 的元素变量, 则有 $\mu_{\underline{A}}(x)$, 并称为隶属函数。隶属函数满足 $0 \leq \mu_{\underline{A}}(x) \leq 1$; 也记做: $\mu_{\underline{A}}(a) \in [0, 1]$

很显然, 模糊集合 $\underline{A}$ 可以用隶属函数表示, 而隶属函数则可以在 $0 \sim 1$ 之间取任意值。

例如, 有 5 个人 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 , 其中 a_1 很胖, a_2 相当胖, a_3 稍胖, a_4 不胖, a_5 干瘦, 那么, 模糊集合可用 $\underline{A}$ 表示, 对这 5 个人, 其隶属度分别为

$$\begin{aligned} \mu_{\underline{A}}(a_1) &= 1, & \mu_{\underline{A}}(a_2) &= 0.75, & \mu_{\underline{A}}(a_3) &= 0.6 \\ \mu_{\underline{A}}(a_4) &= 0.35, & \mu_{\underline{A}}(a_5) &= 0 \end{aligned}$$

可以看出, 模糊集合是可以在 $[0, 1]$ 区间内取任意值的连续逻辑。因此说, 模糊逻辑是二值逻辑的扩展, 二值逻辑是模糊逻辑的特殊情况。

当讨论的模糊集合范围有限时, 模糊集合可以用向量表示。例如, 上面对 $a_1 \sim a_5$ 这 5 个人考虑胖子集合 $\underline{A}$ 时, 则可以表示为

$$\underline{A} = \{1, 0.75, 0.6, 0.35, 0\}$$

有时, 也可以用 Zadeh 表示法, 在这种表示法中, 把元素和隶属度用一个分式加以表示。

例如, a_2 对 $\underline{A}$ 的隶属度为 0.75, 表示为 $0.75/a_2$ 。而上述胖子集合 $\underline{A}$, 则表示为

$$\underline{A} = 1/a_1 + 0.75/a_2 + 0.6/a_3 + 0.35/a_4 + 0/a_5$$

其中, “+”号只表示“连”的意思, 并非相加。同时, Zadeh 表示法也可以表示为

$$\underline{A} = \sum_{i=1}^5 \mu_{\underline{A}}(a_i)/a_i \quad (1-3)$$

或者

$$\underline{A} = \bigcup_{i=1}^5 \mu_{\underline{A}}(a_i)/a_i \quad (1-4)$$

一般的, 在模糊集合中, 隶属度为“0”的元素可以略去不计。所以, 模糊集合可由那些隶属度大于“0”的元素组成。

当讨论的范围无限时, 模糊集合不能用向量或 Zadeh 表示法加以表示。这一情况, 模糊集合 $\underline{A}$ 可用下式表示为

$$\underline{A} = \int \mu_{\underline{A}}(x)/x \quad (1-5)$$

式中: “ $\int$ ”表示总括的意思, 既不是求和也不是积分。

例如: 在宇宙中大星球是一个模糊集合 $\underline{B}$, 因为星球在宇宙中是无数的, 而大星球是一个模糊概念。所以集合大星球 $\underline{B}$ 表示如下:

$$\underline{B} = \int \mu_{\underline{B}}(x)/x$$

事实上, 对于模糊集合而言, 给出了隶属函数也就等于表示出该模糊集合。

1.1.3 模糊关系

世界上的不同事物间总是存在着某种联系, 而表示这种联系的数学模型之一就是“关系”。在社会中, 有的关系十分明确, 如父子关系, 同学关系等。有的关系则是模糊的, 例如相似关系, 好坏关系等。

对于那些不明确的关系, 就必须用模糊关系描述。

现有集合 A 和 B :

$$A=\{a_1, a_2, a_3\}$$

$$B=\{b_1, b_2, b_3, b_4\}$$

对集合 A 和 B 的元素取序偶的过程称为直积运算，则直积运算可表示为 $A \times B$ ；即

$$A \times B = \{(a_1, b_1), (a_1, b_2), (a_1, b_3), (a_1, b_4), (a_2, b_2), (a_2, b_3), (a_2, b_4), (a_3, b_3), (a_3, b_4)\}$$

可以看出：直积运算是在集合 A 中取一个元素 a_i ，然后在集合 B 中取一个元素 b_j ，再把它们配成 (a_i, b_j) ，即“序偶”。序偶必须符合 A 的元素在前、 B 的元素在后的原则，并且各序偶的顺序也必须符合元素的下标规律。

在精确数学中，集合 A 和 B 的直积表示为 $A \times B$ 的一个模糊子集 R ，称为 A 到 B 的关系。例如，对于 A 的元素下标大于 B 的元素下标这种关系 R 有

$$R = \{(a_2, b_1), (a_3, b_1), (a_3, b_2)\}$$

在模糊数学中，集合 A 和 B 的直积表示为 $A \times B$ 的一个模糊子集 R ，称为 A 到 B 的模糊关系。例如， A 的元素下标和 B 的元素下标相差很大的关系 R ，即

$$\underline{R} = \{0, 0.3, 0.6, 1, 0.3, 0, 0.3, 0.6, 0.6, 0.3, 0, 0.3\}$$

$$\begin{aligned} \underline{R} = & 0/(a_1, b_1) + 0.3/(a_1, b_2) + 0.6/(a_1, b_3) + \\ & 1/(a_1, b_4) + 0.3/(a_2, b_1) + 0/(a_2, b_2) + \\ & 0.3/(a_2, b_3) + 0.6/(a_2, b_4) + 0.6/(a_3, b_1) + \\ & 0.3/(a_3, b_2) + 0/(a_3, b_3) + 0.3/(a_3, b_4) \end{aligned}$$

在上述模糊集合 $\underline{R}$ 中，如果 A 的元素和 B 的元素下标差值为 1，则取隶属度为 0.3；差值为 2，取隶属度为 0.6；差值为 3，取隶属度为 1。

模糊关系 $\underline{R}$ 通常用表格加以表示，如表 1-1 所列。

表 1-1 模糊关系表格

$\underline{R}$	b_1	b_2	b_3	b_4
a_1	0	0.3	0.6	1
a_2	0.3	0	0.3	0.6
a_3	0.6	0.3	0	0.3

由表 1-1 可见， A 、 B 的元素 a_i 、 b_j 相交处的数表示该序偶的隶属度，例如

$$\mu_{\underline{R}}(a_1, b_1) = 0$$

$$\mu_{\underline{R}}(a_1, b_2) = 0.3$$

$$\mu_{\underline{R}}(a_1, b_3) = 0.6$$

$$\mu_{\underline{R}}(a_1, b_4) = 1$$

一般地说，只要给出了直积 $A \times B$ 的模糊子集 R 的隶属函数 $\mu_{\underline{R}}(a_i, b_j)$ ，则 A 到 B 的模糊关系 $\underline{R}$ 就可以确定了。

1.1.4 模糊变换

1. 模糊矩阵

前面表示模糊关系 $\underline{R}$ 的表格可以用矩阵表示，则有模糊关系矩阵

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.6 & 1 \\ 0.3 & 0 & 0.3 & 0.6 \\ 0.6 & 0.3 & 0 & 0.3 \end{bmatrix} \quad (1-6)$$

模糊关系矩阵也称模糊矩阵。在模糊矩阵中，元素是相应序偶对模糊关系 R 的隶属度。用模糊矩阵表示模糊关系给模糊关系的处理带来了很大方便。因为矩阵有便于分析和计算的特点。在实际应用中，都是通过模糊矩阵来分析和讨论模糊关系的。

对于集合 A 和 B ，若 A 含有 m 个元素， B 含有 n 个元素，且有

$$r_{ij} = \mu_R(a_i, b_j)$$

则对于模糊关系 R ，可用模糊矩阵表示：

$$\underline{R} = [r_{ij}]_{m \times n}$$

当模糊矩阵中的元素只取 0, 1 值时，模糊矩阵就退化为布尔矩阵，则它和普通二元关系对应。

模糊矩阵可分别执行交、并、求补、转置和合成等运算。这些运算的规则如下。

有模糊矩阵 $\underline{X}$ ， $\underline{Y}$ 分别为

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 \end{bmatrix} \quad \underline{Y} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 \\ 0.9 & 0.3 \end{bmatrix}$$

(1) 模糊矩阵交运算

$$\underline{Z} = \underline{X} \cap \underline{Y} = \begin{pmatrix} 0.1 \wedge 0.5 & 0.8 \wedge 0.6 \\ 0.2 \wedge 0.9 & 0.4 \wedge 0.3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.6 \\ 0.2 & 0.3 \end{pmatrix}$$

(2) 模糊矩阵并运算

$$\underline{Z} = \underline{X} \cup \underline{Y} = \begin{pmatrix} 0.1 \vee 0.5 & 0.8 \vee 0.6 \\ 0.2 \vee 0.9 & 0.4 \vee 0.3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.8 \\ 0.9 & 0.4 \end{pmatrix}$$

(3) 模糊矩阵求补运算

$$\underline{X}^c = \begin{pmatrix} 1-0.1 & 1-0.8 \\ 1-0.2 & 1-0.4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.2 \\ 0.8 & 0.6 \end{pmatrix}$$

(4) 模糊矩阵的转置

$$\underline{X}^T = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.2 \\ 0.8 & 0.4 \end{pmatrix}$$

(5) 模糊矩阵的合成

$$\underline{S} = \underline{X} \cdot \underline{Y}$$

若

$$\underline{X} = (X_{ij})_{n \times m} \quad \underline{Y} = (Y_{jk})_{m \times p}$$

则

$$\underline{S} = (S_{ik})_{n \times p}$$

并且有

$$S_{ik} = \bigvee_{j=1}^m (X_{ij} \wedge Y_{jk})$$

对于给出的 $\underline{X}$ ， $\underline{Y}$ 有

$$\underline{S} = \underline{X} \cdot \underline{Y} = \begin{pmatrix} (0.1 \wedge 0.5) \vee (0.8 \wedge 0.9) & (0.1 \wedge 0.6) \vee (0.8 \wedge 0.3) \\ (0.2 \wedge 0.5) \vee (0.4 \wedge 0.9) & (0.2 \wedge 0.6) \vee (0.4 \wedge 0.3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.3 \\ 0.4 & 0.3 \end{pmatrix}$$

2. 模糊变换

在模糊矩阵合成运算中，如果有模糊矩阵 $\underline{A}$ ， $\underline{R}$ ，并且有

$$\underline{A} = [0.1 \quad 0.6 \quad 0.3]; \quad \underline{R} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 \\ 0.5 & 0.8 \end{bmatrix}$$

则 $\underline{A} \cdot \underline{R} = \underline{B}$ 并有

$$\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R}$$

即 $\underline{B} = [(0.1 \wedge 0.1) \vee (0.6 \wedge 0.3) \vee (0.3 \wedge 0.5), (0.1 \wedge 0.2) \vee (0.6 \wedge 0.4) \vee (0.3 \wedge 0.8)] = (0.3 \quad 0.4)$

可以看出, 一个模糊向量 $\underline{A}$ 和一个模糊矩阵 $\underline{R}$ 合成的结果, 可以确定一个模糊向量 $\underline{B}$ 。

模糊变换就是从上面的运算产生出来。

设 $\underline{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 是 n 维模糊向量。

并有

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

是 $n \times m$ 维模糊矩阵表示的模糊关系, 则称 $\underline{A} \cdot \underline{R} = \underline{B}$ 为模糊变换。由 $\underline{A}$ 和 $\underline{R}$ 通过变换可以确定一个 m 维模糊向量 $\underline{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

在实际应用中, 可以把模糊关系 $\underline{R}$ 看做一个模糊变换器, 其作用如图 1-1 所示。

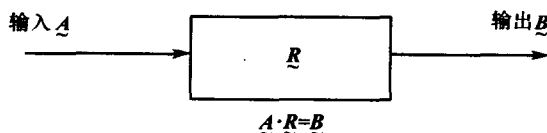


图 1-1 模糊关系原理图

图中, n 维模糊向量 $\underline{A}$ 为输入量, 而 m 维模糊向量 $\underline{B}$ 为输出量, $\underline{R}$ 是输入与输出之间的变换器。如果已知 $\underline{A}$ 和 $\underline{R}$, 求 $\underline{B}$, 则本质上是已知输入 $\underline{A}$ 和变换器 $\underline{R}$, 而求输出 $\underline{B}$ 。

模糊变换在模糊控制中有十分重要的作用。它用于执行模糊语句所表示的推理过程, 最后产生合适的控制量, 模糊变换有时也称综合评判。

在模糊变换中, 如果 $\underline{A}$ 不是一个向量, 则应把 $\underline{A}$ 变成向量形式。本质上, 向量是矩阵的特殊情况。

在模糊控制中, 模糊关系 $\underline{R}$ 是由大量的模糊规划通过处理得到的。一般来说, 一条模糊规则可以得到一个相应关系 $\underline{R}_i$, 而控制系统的总关系 $\underline{R}$ 是由各条规则所得的关系求并得到的。即有

$$\underline{R} = \bigcup_{i=1}^n \underline{R}_i$$

式中 $\underline{R}$ —— 系统总关系;

n —— 规则条数。

1.2 模糊自动控制原理

模糊控制就是采用模糊控制器对被控制对象进行自动控制的方法。

在模糊控制中, 计算机执行由条件模糊语句描述的控制规律, 并把对象控制在给定的性能指标

所允许的范围内。

1.2.1 模糊控制工作原理

模糊控制是建立在人的客观经验基础上的，模拟专业人员的基本操作和处理各种问题的过程，完全不依赖于固定的数学模型控制算法。因此，模糊控制具有类似人类大脑的思维能力，属于人工智能的范畴。专业人员对生产过程的控制基本分成以下三个步骤。

1. 信息观察

在生产过程中，操作者用眼、耳等器官，观察生产过程的输出状态，并把输出的精确物理量变成模糊信息存在大脑中。例如，当观察到生产过程中输出的温度大于 800°C 时，就形成“温度相当高”这种模糊信息。

2. 信息分析

根据取得的信息，按人工经验进行判别，从而确定应如何对生产过程的控制信息进行调整。

3. 信息控制

在确定出进行控制的模糊信息之后，具体执行时则采用相应的精确物理量。例如，在确定“把阀门关小一些”这一模糊控制信息后，实行执行时，则是把阀门旋转到一个精确的角度。

很显然，专业人员进行人工控制生产过程时，是执行对生产过程的信息进行模糊化。即按经验进行模糊推理，然后把推理结果得到的模糊信息精确化去控制生产过程，全部过程如图 1-2 所示。

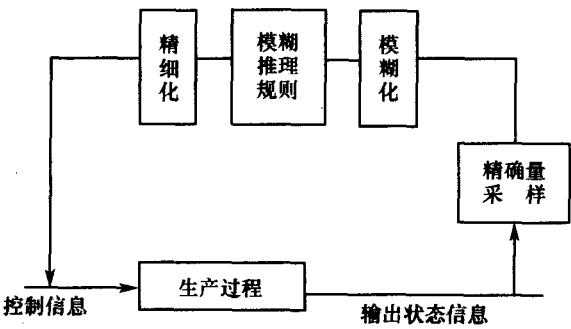


图 1-2 模糊控制原理

如果要用计算机去模拟专业人员进行生产过程控制，就必须首先使计算机执行输入信息的模糊化处理，并且按输入信息的数量级进行模糊化推理产生模糊控制信息，然后再把模糊控制信息进行模糊反变换，变成精确量去控制生产过程。

4. 模糊控制器

在模糊控制过程中，信息的采集、模糊化处理、模糊推理以及模糊变换都是由计算机来完成的。所以，通常把能完成上述几种功能的控制装置称为模糊控制器。其原理框图如图 1-3 所示。

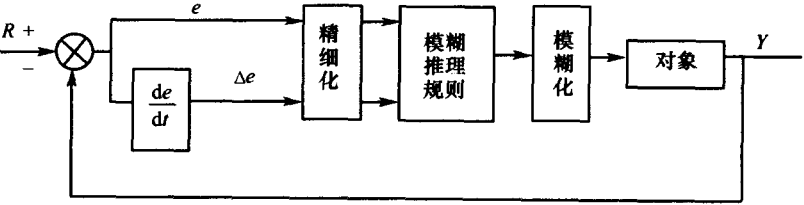


图 1-3 模糊控制器原理框图