

单片机模糊逻辑 —— 开发软件

余永权 唐 平

FUZZY

北京航空航天大学出版社

单片机模糊逻辑开发软件

余永权 唐 平

北京航空航天大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

单片机模糊逻辑开发软件/余永权编著. —北京:北京
航空航天大学出版社, 1996. 11
ISBN 7-81012-663-6

I. 单… II. 余… III. 微处理器-逻辑部件-模糊逻辑-
软件开发 IV. TP311.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 12808 号

内 容 简 介

模糊逻辑控制作为一种智能控制方法应用日益广泛。在工业控制、仪器仪表、家用电器中,大量使用单片机实现模糊逻辑控制。在模糊控制的研究开发中,要解决速度和效率问题,以期缩短开发周期和降低资源损耗。所以,很需要模糊控制的开发软件。本书就是介绍模糊逻辑开发软件的实用书。书中介绍了 Motorola、NEC、国家半导体、Mentalogic System、Aptronix 等公司的模糊逻辑开发软件。它们对模糊逻辑控制系统的开发十分有用。书中不但介绍了模糊逻辑开发软件的基本原理和使用方法,有的还给出了源程序。所以,对从事这方面软件开发的人员也极有帮助。

这是国内第一本介绍模糊逻辑开发软件的书。适合软件开发、单片机开发、模糊逻辑开发、模糊控制学习与教学的工程技术人员、大学生、研究生和教师使用;也可以作为相应专业的教学参考书。

●书 名:单 片 机 模 糊 逻 辑 开 发 软 件

DANPIANJI MOHU LUOJI KAIFA RUANJIAN

●编 著 者:余永权

●责任编辑:韦秋虎

●责任校对:陈 坤

●出 版 者:北京航空航天大学出版社 邮编:100083 电话:(010)62015720

●印 刷 者:北京朝阳科普印刷厂印刷

●发 行:新华书店总店北京发行所

●经 售:全国各地新华书店

●开 本:787×1092 1/16

●印 张:13

●字 数:332.8 千字

●印 数:5000 册

●版 次:1996 年 11 月第 1 版

●印 次:1996 年 11 月第 1 次印刷

●书 号:ISBN 7-81012-663-6/TP·216

●定 价:16.80 元

前 言

自从 1965 年模糊逻辑理论问世以来,在短短 30 余年的历史进程中已得到了长足的发展。在理论上,模糊逻辑理论已成为一种与众不同的数学基础理论;在应用上,模糊逻辑在各种领域上已表现出巨大的潜力和效用。今天,人们对模糊逻辑充满着神奇的感觉和浓厚的兴趣。

模糊逻辑从理论诞生到实际应用所经历的时间很短,这说明了它的生命力和现实价值。一方面,模糊逻辑向人们提供了一种新的方法论,而这种方法论正是科学技术发展所急需的;另一方面,模糊逻辑在实际应用中取得了出乎人们意料之外的成功,这种应用的成功进一步激发了人们对模糊逻辑探索和研究的欲望。应该说,模糊逻辑是在理论与实践的相辅相成作用下迅速发展起来的。

任何理论的目的和效果都在于应用。否则,理论将只是一种研究者所热衷的文字或数字游戏。模糊逻辑也一样,解决科学技术中的实际问题是其目的;反之,也只有实际应用才能对其理论的正确性进行客观的验证。

模糊逻辑的应用不能离开硬件和软方法这两种基础。

硬件是指实现模糊逻辑的物理器件或物理系统;软方法是指实现模糊逻辑的理论方法和技术方法。

目前,实现模糊逻辑的硬件有一般集成电路、计算机系统、模糊推理芯片、数字单片机、模糊单片机等。在仪器仪表、工业控制、家用电器等领域,数字单片机现在占了绝对的优势。实现模糊逻辑的软方法有模糊逻辑系统理论、模糊逻辑控制技术、模糊逻辑开发软件等。在实际应用中,和数字单片机结合的模糊逻辑开发软件会大大提高开发的速度和效率。

随着模糊逻辑越来越受重视,应用数量越来越多,应用的领域越来越广泛,对模糊逻辑开发的需要与日俱增。所以,急需一本介绍模糊逻辑开发软件的书。以便和数字单片机硬件结合,开发出模糊逻辑实际应用系统。

在这种形势下,我们编写了这本《单片机模糊逻辑开发软件》。希望这本书在模糊逻辑开发应用中对广大读者的工作有所帮助。

这本书是一本专门介绍模糊逻辑开发软件的书籍,也是我国第一本介绍这类软件的书。在取材上尽量选取有代表性、典型性、先进性和实用性的内容。在这本书中主要介绍 Motorola、NEC、National Semiconductor、Mentalogic System 和 Apronix 公司的模糊逻辑开发软件。这些软件各有特色和优点,在实际中有较好的实用效能。

这本书一共有 6 章内容,全书由余永权主编。唐平编写第 3,5 章;余永权编写第 1,2,4,6 章。周青青协助对第 6 章的资料进行整理,在此表示感谢。

在这本书编写过程中,力求深入浅出,既说明原理,又考虑使用的方法。由于编者水平有限,教学和科研任务较多,所以难免存在各种谬误和不当之处,诚望广大读者批评指正。

作 者 1996 年 5 月于广州 广东工业大学

目 录

第一章 单片机与模糊逻辑的发展概况

§ 1.1 单片机的发展	(1)
1.1.1 通用单片机的发展	(1)
1.1.2 特殊单片机的发展	(2)
1.1.3 单片机和模糊逻辑的结合	(4)
§ 1.2 模糊逻辑的发展	(6)
1.2.1 模糊逻辑的形成过程	(6)
1.2.2 模糊逻辑与控制系统	(7)
§ 1.3 单片机和模糊控制	(8)
1.3.1 单片机对模糊控制的适应性	(8)
1.3.2 数字单片机实现模糊控制	(10)
1.3.3 模糊单片机实现模糊控制	(11)

第二章 Motorola 模糊逻辑推理机

§ 2.1 模糊逻辑推理机的基本原理	(13)
2.1.1 推理机中用到的基本概念	(13)
2.1.2 隶属函数的表示方法	(15)
2.1.3 模糊推理机的工作过程	(18)
2.1.4 知识基发生器 KBG 及其作用	(20)
§ 2.2 MC68HC11 模糊逻辑推理机	(23)
2.2.1 FUZZY11B.ASM 的结构功能概况	(23)
2.2.2 FUZZY11B.ASM 的程序清单	(25)
§ 2.3 MC68HC05 模糊逻辑推理机	(30)
2.3.1 MC68HC05 模糊推理机的概况	(31)
2.3.2 MC68HC05 模糊推理机清单	(33)

第三章 NEC 模糊逻辑开发系统软件

§ 3.1 NEC 模糊逻辑开发软件组成和功能	(45)
3.1.1 模糊知识数据输入工具 FE9200	(45)
3.1.2 模糊推理机 78K/0 系列	(45)

3.1.3	模糊文件翻译器 FT9085	(45)
§ 3.2	模糊逻辑开发系统软件的环境	(46)
3.2.1	FE9200 系统软件文件结构与开发环境	(46)
3.2.2	78K/0 系列软件的文件结构与开发环境	(47)
3.2.3	模糊文件翻译器 FT9085 的操作环境	(47)
§ 3.3	模糊逻辑开发系统软件的使用方法	(48)
3.3.1	模糊知识数据输入工具 FE9200 使用方法	(48)
3.3.2	78K/0 系列模糊推理机使用方法	(84)
3.3.3	模糊文件翻译器 FT9085 的使用方法	(88)

第四章 NS 公司神经模糊软件 NeuFuz4

§ 4.1	NeuFuz4 概况	(93)
4.1.1	NeuFuz4 功能简况	(94)
4.1.2	NeuFuz4 中的神经网络和模糊逻辑	(95)
4.1.3	NeuFuz4 工作过程简况	(97)
§ 4.2	NeuFuz4 所用到的神经网络及模糊逻辑概念	(99)
4.2.1	模糊逻辑基础	(99)
4.2.2	神经网络基础	(105)
4.2.3	NeuFuz4 基础	(107)
§ 4.3	模糊逻辑系统的学习训练	(109)
4.3.1	确定输入数据和参数	(109)
4.3.2	训练 NeuFuz4 神经网络	(118)
§ 4.4	模糊逻辑系统的试验评价	(124)
4.4.1	评价过程概况	(124)
4.4.2	编辑隶属函数	(126)
4.4.3	验证规则	(129)
4.4.4	检验、建议	(132)
§ 4.5	生成单片机代码	(133)
4.5.1	代码生成器的输入和输出	(133)
4.5.2	代码生成	(134)
4.5.3	解释 Log 文件	(136)
4.5.4	解释代码文件	(137)
4.5.5	与 COP8 模糊代码进行连接	(141)
4.5.6	汇编、连接模糊代码	(143)

第五章 Mentalogic System 模糊控制器开发站 FCDS-01

§ 5.1	FCDS-01 的结构原理	(144)
-------	---------------------	-------

5.1.1	MSI SHELL	(144)
5.1.2	MSI 模糊逻辑控制板	(145)
§ 5.2	FCDS-01 的使用方法	(146)
5.2.1	系统的安装与启动	(146)
5.2.2	模糊控制器开发使用方法	(147)

第六章 Apronix 模糊推理开发环境 FIDE

§ 6.1	FIDE 的组成和功能	(164)
§ 6.2	FIDE 的使用环境	(165)
§ 6.3	FIDE 的使用方法	(165)
6.3.1	FIDE 的安装	(165)
6.3.2	FIDE 的硬件关键件	(166)
6.3.3	启动 FIDE	(166)
6.3.4	退出 FIDE	(167)
6.3.5	产生源文件	(167)
6.3.6	编辑隶属函数	(170)
6.3.7	编辑源文件	(174)
6.3.8	调试和分析	(175)
6.3.9	产生实时运行代码	(181)
6.3.10	连接一个系统	(182)
§ 6.4	FIDE 的应用例子	(189)

参考文献	(197)
------------	-------

第一章 单片机与模糊逻辑的发展概况

单片机是单片微型机的简称,现在一般也称作微控制器(Microcontroller)。从形态上讲,单片机是一种物理结构,它和特定功能的软件结合,就可以完成某种特定的任务。

模糊逻辑是一种理论方法。它以模糊集合为基础而形成的一种全新的方法论。

自控制理论诞生以来,人们一直坚持不懈地寻求各种有效用于实际的控制理论和技术,虽然,已经经历了经典控制理论和现代控制理论阶段,但仍然未能取得人们所期望的结果。现在智能控制的出现,使人们从更深刻的角度和层次上去对控制理论和技术进行研究。目前,人们基本上认可,智能控制一般可以由三种主要的理论和技术实现:这就是人工智能、神经网络和模糊控制。而模糊控制则是在现实中最切实可行的方法。单片机和模糊逻辑结合所组成的模糊控制器在实际应用中有广泛的应用价值和重要意义。

§ 1.1 单片机的发展

单片机在过去仅仅是以一种把 CPU、存储器、I/O接口集成在一起的集成电路面目出现,它的功能和目的只限于小型控制。随着电子技术和计算机应用的发展,单片机技术在近年已经有了很大的发展。今天它已深入到数字信号处理、计算机网络、并行处理等大型系统中,并且采用了大量新颖的技术,也产生了各种具有新的结构和功能的单片机。

1.1.1 通用单片机的发展

目前,世界上的单片机以 Intel、Motorola、NEC、Zilog、NS 等公司的产品居多。这些公司的单片机主要是用于控制领域和仪器设备的。这类传统的产品也正在向着接口多样化、指令强化和功能专用化的方向发展。

一、接口多样化

接口多样化主要体现在两个方面:一个方面是在不同用途的单片机上形成不同的接口;另一方面是在多用途的单片机上形成多种接口。过去,一般较高档的单片机如 8096 等才设置 Watchdog;但现在十分普通的 8 位单片机 PIC16C5X 系列单片机也设置了 Watchdog,同样,Philips 的单片机 83C58 也设置了 Watchdog,它和 80C51 兼容;特别在其内部存储器中还提供了扩大堆栈功能的切换开关空间。Motorola 的 16 位单片机 68HC16Y1 采用精减指令计算机(RISC)的时间处理部件,含有 16 通道的定时器。而 NEC 的 78K 系列单片机则含有 A/D、D/A 转换器, FIP 控制器, 实时输出端口、PWM 端口、伪静态 RAM 刷新部件等多种多样的接口。除此之外,有的单片机还带有正弦波端口, LCD、LED 接口, 三相输出接口, 桥式电机控制接口等。NEC78K 系列单片机有的型号,例如 μ PD78356 就含有 10 多种接口部件。

二、指令强化

指令强化在大多数新型单片机中,主要体现在采用 RISC 技术,使每条指令的功能都相应增强了。例如 Microchip 公司的 PIC16C5X 系列单片机,由于采用 RISC 技术,故只有 33 条基本指令,每条指令字长 12 位,它具有较强的功能。Motorola 公司的 16 位单片机 68HC16Y1 也

采用了 RISC 技术。而有些单片机虽然没有采用 RISC 技术,但指令系统增加了一些十分强劲的指令:在 NEC 公司的 78K 系列单片机中, μ PD78355,78356,78600,78602 都含有对积求和的指令;而 78355,78356 还含有互相关指令。这些功能极强的指令大大提高了单片机的处理能力。

三、专用化

目前,单片机由于在消耗品和仪器上应用的量大大增加,故应用的对象层出不穷。这种量大面广的状态使单片机渐渐趋向专用化。Motorola 公司推出 MC68HC05 系列的几十个品种、NEC 公司推出的 μ PD75X 系列的几十个型号、NS 公司推出的 COP400 系列的各种型号和 Microchip 公司推出的 PIC16C5X 系列的多个型号,都是分别为了在家用电器、仪器仪表等各类对象上专用。特别值得提出的是 Motorola 公司推出了专门用作神经元的单片机 MC143150;Neuralogix 公司推出了模糊单片机 NLX230 等;TI、NEC 等公司也推出了专门的数字信号处理器 DSP;而麻省理工学院等则在开发一种最新的单片机,称为信息驱动处理器 MDP,它专用于计算机网络控制和并行处理。

英国 Inmos 公司的通信计算机(Transputer)是最特殊的单片机之一。通信计算机内部含有 CPU,存储器以及大量的标准点对点通信网络。其结构如图 1-1 所示。这种计算机适用于数字通信和并行处理,而其指令系统支持多处理功能,故它在雷达等领域有很重要的应用。这种单片机的早期产品为 T414,后来又发展到 T800。现在,Inmos 公司研制出 HI 型号的产品,HI 含流水线、超标量处理器、RAM 及改进的通信接口,其片内的 16KRAM 及虚拟通信能力使其在并行处理、多道通信等专用的用途中,有着极广泛和深入的作用。

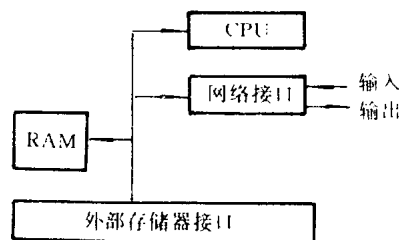


图 1-1 Transputer 结构

1.1.2 特殊单片机的发展

随着单片机的发展,现在已产生了各种特殊的单片机,它们用于各种专用的目的。这些单片机有用于信息处理的数字信号处理器 DSP,有用于计算机工业控制网络的神经元单片机,有用于网络和并行处理的信息驱动处理器 MDP。

一、数字信号处理器 DSP 的发展

DSP 是单片机的一个重大分支。这是用于通信上数字信号处理的单片机,它的结构比一般单片机要复杂,速度也高得多。主要的 DSP 生产厂家有德州仪器公司 TI、日本电气公司 NEC 等。

过去各公司生产的 DSP 以 16 位居多,指令执行时间一般为 250ns~120ns;在内部采用改进的 Harvard 结构,即也含有两个独立存储器:程序存储器 ROM、数据存储器 ROM。数据存储器 RAM,容量一般为 256 字节到 2K 字节。而近年 DSP 有了较大的改进。以美国模拟器件公司近年推出的数字信号处理器 DSP-21020 为例,它采用 20MHz 时钟,浮点指令周期为 50ns,进行 1024 点快速傅立叶变换只需 0.96ms。在图像处理、语音识别、雷达和声纳上都有很大的用途。NEC 公司的 μ PD77230 是 32 位的先进型数字信号处理器 ASP,其特点是所有指令都只有一个指令周期,采用 13MHz 时钟,指令周期为 150ns;程序存储器 2K,数据 ROM 1K,数据 RAM 1K;在内部采用 55 位 ALU 总线;串行 I/O 端口速度为 4MHz;采用三态指令流水线。特别是德州仪器公司推出的最新 DASP,其型号为 TMS320C40,是最吸引人的产品。

TMS320C40 含有每秒达 100M 字节的总体总线, 可以支持存储器共享; 也有同样速度的局部总线。在片内有数据 RAM 8K。TMS320C40 的 CPU 由 40 位的浮点/整数乘法器、ALU、32 位移位寄存器、32 字的寄存器文件、扩展寄存器文件和 2 个辅助寄存器运算单元组成。TMS320C40 的机器码和其同一系列的先期产品 TMS320C30 兼容。在 TMS320C40 内部有 6 个通道的 DMA 处理器, 有 6 个通信端口的直接通信部件, 它每秒可执行 2.75 亿个操作, 数据传输率为每 40ns 传送 320M 字节。到目前为止, TMS320C40 是 DSP 中的最好产品, 它可用于高级并行处理和高速通信处理的场合, 其性能尚未有其它型号可以和其相比。

二、神经元单片机

神经元单片机是网络节点控制用的单片机, 它主要用于组成工业计算机控制网络以实现有关任务的实时控制。神经元单片机的典型产品是 Motorola 公司的 MC143150。

MC143150 的结构中有三个 CPU、一个 RAM、一个 EEPROM、一个通讯端口、一个 I/O 部件和存储器接口, 另外还有时钟及控制电路。它的主要特性如下:

1. 有 3 个 9 位流水线 CPU。
2. 有可编程的 11 条 I/O 端口引线, 可用在 24 个节点上。
3. 有 2 个 16 位定时/计数器。
4. 有 5 条通信端口引线, 可支持网络的收发。
5. 有 2K 字节的静态 RAM。
6. 有含充电泵的 512 字节电可改写存储器 EEPROM。
7. 有外部存储器接口。
8. 有睡眠方式和每个单片机不同的 48 位识别数字。

神经元单片机 MC143150 可以作为工业控制网络中的节点部件。MC143150 可用在 Echelon's Lontalk 协议网络中。Echelon's Lontalk 协议是一种分布式检测和控制网络协议, 它通常用于工业、商业和住宅系统。也即是, 这类系统专门被设计成传送小批量数据, 故可降低价格。检测和控制网络的数据传送率比以太网要低, 15 字节一组的数据传送率最高为 1.25Mbps, 大约比以太网低 10Mbps。在检测和控制网络中, 每一个神经元单片机都起智能控制器作用, 它能不断监视和执行有关命令。估计神经元单片机 MC143150 在工业的检测和控制网络上有着极广泛的前途, 包括生产流水线网络, 家庭自动化网络, 建筑物保险网络和运载工具重造系统网络等。

三、信息驱动处理器 MDP

信息驱动处理器 MDP(Message-Driven Processor)是一种最新的单片机, 它专门用于计算机网络和并行处理。MDP 在 1991 年 6 月由麻省理工学院、大卫逊(Davison)设计和开发公司和英特尔公司联合研究成功。研制 MDP 有两个主要目的:

1. 用于实现通用的多机处理节点; 这种节点需要有效地支持几种不同的并行程序模式, 并提供通信, 同步等功能。
2. 产生不昂贵的用于并行计算机的超大规模集成电路; 并可以连网以组成杰里宾(Jellybean)多计算机, 即 J 机(J-Machine)。

MDP 是一个 36 位单片机, 内部含有 100 多万个晶体管。片内有 3 个 CPU、存储器和网络端口。片内的有错误检测和校正的存储器控制器, 允许外部可扩充存储器容量到 1M 万字节。

MDP 由 CPU(读取电路、控制电路、寄存器文件及算术逻辑部件 RALU)、存储器、通信系

统(线路传送器、网络输入输出接口)、寻址算术部件 AAU 及诊断接口等组成。

和外界联系的端口有存储器端口、网络端口和诊断端口三个。存储器端口提供高达 1M 字节的 ECCDRAM 直接接口;这个接口含有 11 条复用的地址线,12 位数据总线和 3 个控制信号线。36 位数据是对存储器进行三次读写得到的。网络端口一共有 6 个双路端口,它使 MDP 可以和三维网络连接;每个双路端口可以和 6 个坐标方向即 $+X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z$ 之一的方向相连,并且每个双路端口含有 9 条数据线和 6 条控制线。诊断端口可发出管理命令和对 MDP 存储器进行读写;诊断端口含有 2 条控制线和一条串行输入线,一条串行输出线;利用这个端口,控制台处理器可以对 MDP 地址空间的任何位置进行读写,并可以对 MDP 执行复位、中断、暂停和单步操作。

MDP 的研制目的在于并行处理,由它构成的三维并行计算机有极高的速度。

1.1.3 单片机和模糊逻辑的结合

单片机的发展和智能控制的发展相互促进,现在单片机的发展也已和模糊逻辑相结合了。这种结合反映在两个方面:一方面产生了模糊单片机这种新型的单片机;另一方面产生了数字与模糊单片机用于模糊控制的各种模糊开发软件和开发系统。

一、模糊单片机

模糊单片机是一种能执行模糊逻辑推理功能的单片机。模糊单片机和数字单片机之间的区别在于:数字单片机只能执行二进制数字运算和处理,它需执行的任何任务都要依赖软件的功能才能实现。模糊单片机则可以执行模糊化、模糊推理、反模糊化等一系列操作而无需软件。

最典型的模糊单片机是美国 Neuralogix 公司推出的 NLX230, NLX220 系列。它们是目前最有代表性和最具特色的模糊单片机。

模糊单片机 NLX220 的结构如图 1-2 所示。

从图 1-2 中看出:NLX220 的结构包括输入部件、模糊化器(Fuzzifier)、反模糊化器(Defuzzifier)、控制器(Controller)、参数存储器(Parameter Storage)和输出部件。

输入部件由 A/D 转换器和 8 位数字信号输入电路组成;另外,还有与之有关的输入多路器、中心值多路器、宽度多路器,和 8 位锁存器。锁存器有 4 个,每个可锁存一个 8 位数字信号。在 NLX220 和 NLX222 中,有 4 个模拟信号输入通道;在 NLX221 和 NLX222 中有 4 个分时输入的数字信号通道。这些输入结果可以用 4 个 8 位锁存器存放。输入多路器、中心值多路器和宽度多路器用于传送隶属函数和输入信号到后面的模糊化器中。

模糊化器用于对现行输入信号和控制规则中的相应模糊量进行处理并产生对应的隶属度。

反模糊化器用于把多条控制规则产生的控制量去求取相应的控制。反模糊化有立即法和累加法两种。立即法是把求出的控制值加上初始值作为最终控制量;累加法则是把本次控制值加上上次控制值作为最终控制量。

控制器用于控制整个模糊控制器的协调工作。

参数存储器用于存放隶属函数和控制规则的有关参数。它可以定义 111 个模糊量和 50 条控制规则。

输出部件用于进行控制值输出。它含有 4 个 8 位锁存器、输出多路器。在 NLX220 和 NLX222 中还含有 D/A 转换和 4 个模拟输出电路。

从模糊单片机的结构可知:它不存在程序存储器,只有参数存储器。它是以参数形成模糊

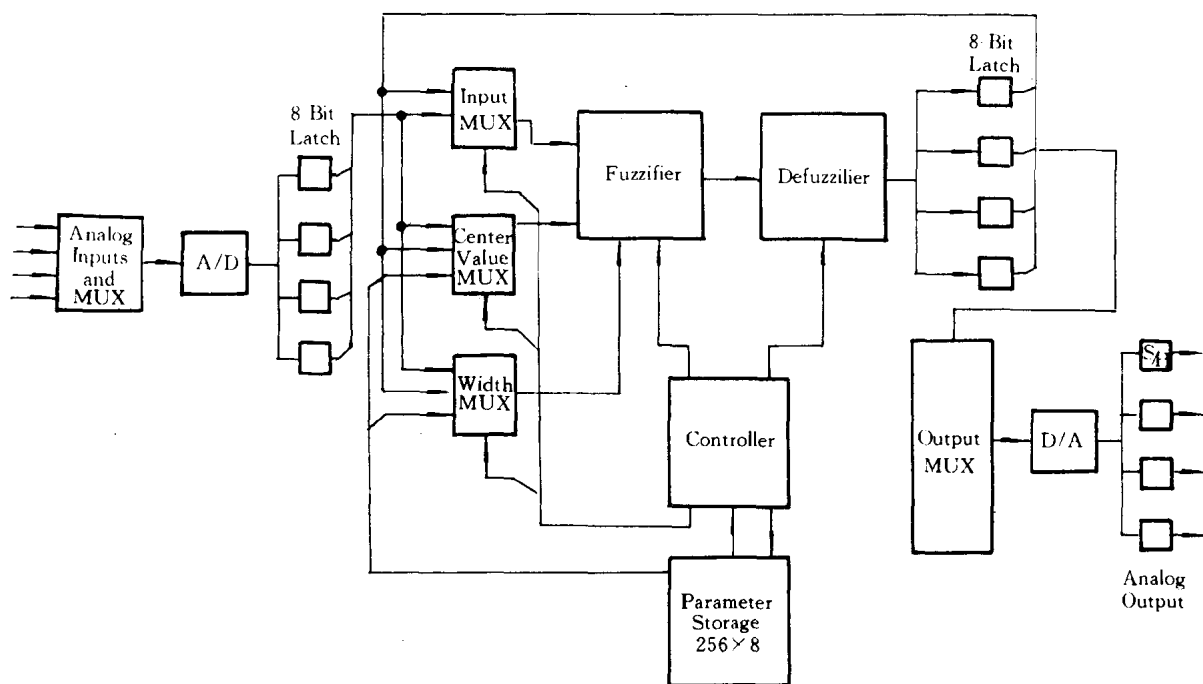


图 1-2 NLX220 模糊单片机框图

控制器的结构执行控制的。

除了 Neuralogix 公司的 NLX230,220 系列模糊单片机之外,还有日本富士通公司生产的模糊单片机 MB94140 系列。严格地说,富士通公司的 MB94140 系列是模糊单片机与数字单片机的结合体,它是在数字单片机的基础上加上模糊推理机部件形成的。因此,它的结构和 NLX230,220 系列的结构有很大区别。

二、模糊逻辑开发软件和开发系统

模糊逻辑开发软件和开发系统有两类,一类是针对数字单片机的,它的模糊控制机理要用软件实现。开发软件和开发系统的目的就是要产生能实现预定的模糊控制方式的单片机软件目标码。另一类是针对模糊单片机的,它的模糊控制机理要用参数设定。所以,这种开发软件和开发系统的目的则是要产生模糊单片机的结构参数。

目前,模糊逻辑开发软件和开发系统都是和微型机系统连成一体的。模糊控制软件或模糊结构参数一般通过微机系统进行编辑和修正,同时通过附加的开发系统硬件及目标系统进行仿真和校正。

单片机用在控制领域较多,故现在和模糊控制的结合越来越密切。为了满足模糊控制的发展,很多单片机生产厂商纷纷推出模糊控制的开发软件系统,以供数字单片机用户进行模糊控制开发。这一类软件一般采用神经网络的学习功能,通过重复、计算等过程,利用用户的设定隶属函数和控制规则,产生较合适的输出控制信号。一般而言,模糊控制开发软件能产生控制的目标码。日立公司已开发出模糊编程系统用于对 H8/300,H8/500 等单片机进行模糊控制开发。同时,近年来,该公司还把该软件扩展到可对 4 位的 HMCS400 系列单片机进行模糊控制开发。NS 公司也推出了模糊逻辑工具软件,可以对该公司的 COPS、HPC 和 32000 系列单片

机进行模糊控制开发。Motorola 公司和 Apronix 公司也推出其模糊控制开发软件 FIDE, 可以对该公司的 MC68HC11、MC68HC05 系列单片机进行开发。而 Neuralogix 公司则推出了 NLX230 模糊单片机及其开发系统, 另外还有软件配套。使用户可以用软件仿真模糊系统及用硬件开发模糊系统。

§ 1.2 模糊逻辑的发展

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。

1.2.1 模糊逻辑的形成过程

在人类发展史中, 社会活动的记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, 条件也时常变化; 往往用微分方程描述这些系统显得十分不足; 而有的微分方程也十分难以求解; 而且, 有的系统根本不能用微分方程描述。今天精确数学已显得无法对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问题进行求解。这就需要对这些问题进行定量化和数学化。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机率并不高; 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, 就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。这种二值逻辑也是现在的数字计算机的基础。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”,绝无其它值。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,Marimes 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、原料烧结、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,并且取得令人满意的效果。

1979 年开始,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 Nenralogix 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了实用阶段。现在该公司的 NLX220 系列单片机又推向了市场。

1.2.2 模糊逻辑与控制系统

人类社会的发展和进步,对生产过程和产品类型、质量要求愈来愈高,这样对过程的自动控制就显得日益重要。自动控制的目的就是用机器取代人对生产过程进行控制,以达到一个过程能自动完成保证质量的生产。

在目前,人们所采用的自动控制方法有三种:经典控制方法、现代控制方法和智能控制方法。

经典控制理论是过去人们常用的控制理论,这种控制理论只能解决线性定常系统的控制问题。线性是指系统的输入量和输出量的关系是线性的,定常是指系统的输入和输出量的关系是恒定的,并不随时间的变化而变化。一般的工业生产过程较多属于线性定常系统,故可以用经典控制方法来控制。经典控制方法最典型的就是 PID 控制方法。

现代控制理论可以解决时变系统的控制问题,在时变系统中,输入量和输出量的关系随时间的变化而变化。故而现代控制理论在航空航天和军事上有很大的作用。

无论是经典控制还是现代控制方法,它们都要求知道系统的数学模型才能执行控制。如果没有数学模型,则它们对系统就无能为力了。

然而在实际中,有的复杂过程或高温、剧毒、高压的生产过程,是根本无法求取其数学模型,或难以求取其数学模型的。因此,采用经典控制或现代控制方法都无法解决这类问题。

人们在生产实践中发现:对一些数学模型难以或无法建立的系统,一个熟练或有经验的专业人员可以十分顺利地对该系统实施控制。因此,人们自然而然地考虑能否把人们的经验进行总

结,以产生相应的控制规则,并用这些控制规则形成一个控制器对系统实行控制,这样就实现了以机器取代人对生产过程实现自动控制。

模糊数学的诞生,使人们可以用模糊语句来表示人们的控制经验。例如,对于一个煤气加热的水恒温系统,人们的经验可以有下面几条:

1. 水温过低,煤气阀门要开大一些;
2. 水温恰当,煤气阀门要处于不大不小的位置;
3. 水温过高,煤气阀门要开小一些。

在这些经验中,“过低”、“恰当”、“过高”、“大一些”、“不大不小”、“小一些”都是模糊概念和模糊量。因此,必须用模糊逻辑来表示。从而产生了一种用模糊逻辑进行自动控制的新方法——模糊控制。

自从1974年英国的Mamdani首次用模糊逻辑实现对蒸汽机的控制之后,模糊控制就成为一种有别于经典控制和现代控制的新的控制方式。模糊控制是基于人们的经验的,而经验是人们智能活动的结晶,故而模糊控制反映着人们的智能对生产过程的自动控制作用。因此模糊控制是比较经典和现代控制更高一级的控制方法——智能控制方法。

智能控制方法是现在发展起来的最新控制方法,目前还在不断发展和完善之中。模糊控制是智能控制方法中的一种方法。由于模糊控制采用人的经验规则,有时也称经验控制或规则控制。模糊控制有如下几个特点:

1. 无需知道被控对象的数学模型;
2. 易于对不确定系统或非线性系统进行控制;
3. 对被控对象的参数变化有较强的鲁棒性;
4. 对外界的干扰有较强的抑制能力。

由于模糊控制的上述特点,使人们日益乐于应用。目前,在家用电器、工业生产过程、专家系统中都大量采用模糊控制方法。在最近一二年来,国外投入家电市场的所谓“晓思”、“仿思”、“快思”、“发市”家用电器都是采用模糊控制的新产品。在日本,家用电器是否采用模糊控制已成为是否成为高档商品的标志。在我国,模糊控制也在迅速发展,在工业上也有不少成功的例子。近年来,广东工业大学对模糊控制的家用电器,包括模糊消毒柜,模糊电饭锅、模糊洗衣机等已相继开发成功。随着人们生活水平和工业生产水平的提高,模糊控制的产品和生产过程越来越多。

§ 1.3 单片机和模糊控制

单片机在各种领域都有广泛的应用;模糊逻辑又是目前最有现实意义的智能控制方式之一。这样,用单片机在各种领域中执行模糊控制任务是一种不可避免的发展进程。

1.3.1 单片机对模糊控制的适应性

模糊控制这种新颖的控制方式要求有恰当的物理基础。当然,这种物理基础可以是微型计算机系统、单片机,或者是有关集成电路。但是,针对各种用途来说,以单片机为实现模糊控制的物理基础有着很大的优势。

一、单片机用于模糊控制的优点

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:

1. 可以接收数字量、模拟量和开关量

单片机的接口有一般的并行 I/O 口,故而接收数字量是轻而易举的事;单片机的接口还有 A/D 转换器,所以接收模拟量有良好的条件;而单片机有定时器输入口,一般的 I/O 口,它们都可以用于接收开关量。

2. 可以输出数字量、模拟量和开关量

单片机的输出接口有并行 I/O 口,输出数字量十分方便;而单片机中的 D/A 接口, PWM 接口,是模拟量输出接口。开关量用 I/O 口输出是简单而容易的。

3. 模糊化方便

模糊化包括量化及隶属函数的定义。在单片机中,用专门的算法可以描述隶属函数,而用坐标或表格也可以表示隶属函数。至于量化则是一个简单的算法。用软件执行模糊化并不困难。

4. 反模糊化方便

无论采用最大隶属度法、亦或重心法,在单片机中只是一种算法,并且可以由专门的子程序执行。

5. 模糊推理的执行较容易

模糊推理在很多场合中是采用控制表执行的,控制表的采用对于单片机而言,则是执行查表而已。如果对控制规则直接执行过程推理,则根据控制规则前件的零件可以确定在每一瞬间所涉及的规则条数;一般而言,前件的零件有 n 个,则涉及的规则最少为 1 条,最多为 2^n 条。在软件处理中可以较容易判别出有关系的规则,从而执行相应的处理。对于一般的控制系统,较多采用 Mamdani、Larson 和 Tsukamoto 推理。所以,执行并不困难。故对于单片机而言,是可以胜任的。

二、单片机易满足大量智能化产品的要求

大多数智能化产品要求控制器有如下特点:第一,控制器的体积要足够小,以期能安装于产品的内部,并且可定位于产品内有限的且不规则的空间中;第二,控制器必须要有很强的抗干扰性能,有很强的环境适应能力;第三,控制器必须有各种满足控制要求的功能;第四,控制器应有较好的灵活性,以适应智能产品的改进和发展;第五,控制器必须价格低廉,便于智能产品投入市场之后能为用户所接受。

大量的智能化产品目前都采用模糊控制,这些产品量大面广,包括家用电器、玩具、计算机外部设备、仪器仪表、办公自动化产品、商用设备等。

在目前所有的控制器的物理结构形式中,单片机的体积是最小的。小型封装的单片机的体积不到 1 立方厘米,比人的小指甲还小。因此,它可以用在像照相机这样体积小的产品中。单片机的体积在所有各类控制器中具有绝对的优势,它用在产品中是无可争议的。

单片机在逻辑设计和工艺制造上主要是考虑工业应用,所以,它和一般集成电路相比有较好的抗干扰能力。特别是现在的用 HMOS 工艺制造的单片机,对电源和外来信号都有一些专门的抗干扰措施。例如中断信号的输入,有的单片机对有足够宽的请求中断脉冲才产生响应,脉冲宽度不够的则认为是干扰。不少单片机对环境的温度和湿度都有较好的适应性,可以在工

业条件下稳定工作。

单片机的结构含有多种逻辑功能部件,其中除了 CPU、存储器、I/O口之外,还有定时器、A/D、D/A、PWM、串行口等,完全可以满足各种控制的要求。

单片机用于控制是以软件实现的。对执行模糊控制的各种功能:包括模糊化、模糊推理、反模糊化都是通过软件方法实现的。这样,进行模糊控制方法的改进就十分方便。在硬件不变的情况下可以采用不同的模糊控制方法。另外,当智能化产品进行改进时,绝大部分功能可以通过软件的改进而实现,从而有着很好的灵活性。

单片机的价格十分低廉,便宜的单片机不到 1 美元。这样,在智能化产品上应用不会给用户增加什么经济负担,极易为用户所接受。

1.3.2 数字单片机实现模糊控制

模糊控制在系统结构上和一般的数字控制是一样的;其区别仅在于数字控制系统用的是数字控制器,模糊控制系统用的是模糊控制器。

模糊控制系统一般是一个闭环的系统,系统所考虑的输入有给定值与实际输出的偏差 e ,以及偏差变化率 Δe ,这种系统也称为二维模糊控制系统;在有的系统中,有时还考虑偏差二阶变化率 $\Delta^2 e$,这种系统则称为三维模糊控制系统。

模糊控制系统的一般结构如图 1-3 所示。

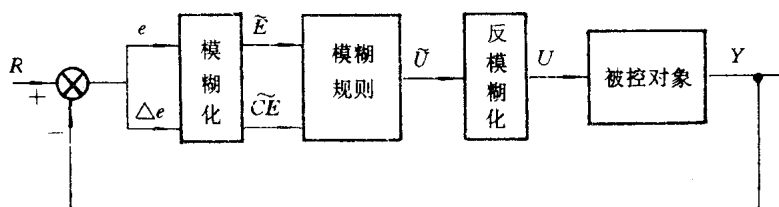


图 1-3 模糊控制系统的结构

图 1-3 所示典型的模糊控制系统。它是由包括给定输入 R 、加法环节、模糊化、模糊规则、反模糊化和被控对象所组成的闭环控制系统。在这种典型的系统中,只有反馈环节,而不含其它的如性能测量、参数调节等环节。

对于自组织或自学习的模糊控制系统,通常还有评价性能的环节、参数调节的环节。

就物理结构而言,数字控制与模糊控制的结构是一样的,所以关键的问题是在于软件的设计。

用数字单片机实现模糊控制的最大优点是可以由用户选择任何一种推理方法。这是因为推理是用软件实现的,对任何一种推理都可以用软件实现。在实际应用中,用户就可以根据客观的需要采用最合适的推理方法。模糊控制的推理方法有多种,实际可以选用下列的几种:

1. Mamdani 法;
2. Larson 法;
3. Tsukamoto 法;
4. Baldwin 的真值限定法;
5. 陈永义和汪培庄的直接法;
6. Z. Cao 和 A. Kandel 的精确值法;