

微型机控制系统设计工程

——从芯片到系统

刘植桢 王秀玲 岳震伍

WEI XING JI KONG ZHI XI TONG
SHE JI GONG CHENG

清华大学出版社

微型机控制系统设计工程

—从芯片到系统

刘植桢 王秀玲 岳震伍 编著

清华大学出版社

内 容 提 要

本书介绍由芯片组成微机控制系统的方法与技术。着重从应用的角度出发，由浅入深地阐述了工业控制用微型机系统的设计方法、调试技术，其中包括一些简单实用的开发装置和开发系统；同时，还列举了一些微机控制系统的设计实例。

全书共分十五章，第一章介绍微机实时控制系统，第二章到第八章分别介绍集成芯片的结构与功能，第九章介绍单片微型机，第十章到第十三章阐述由芯片组成系统的设计与调试方法，第十四章为实时操作系统，第十五章介绍微机控制系统的实例。

本书是清华大学计算机应用专业学习“微机应用”课程的教材，可供大专院校计算机控制与应用专业的师生，以及具有一般计算机原理知识的工程技术人员阅读参考。

35135/04

微型机控制系统设计工程

——从芯片到系统

刘植桢 王秀玲 岳震伍 编著

*

清华大学出版社出版

北京 清华园

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/16 印张：19.5 字数：497千字

1986年4月第1版 1986年4月第1次印刷

印数：0001~8000

统一书号：15235·212 定价：3.40元

目 录

第一章 微型计算机与实时控制系统	1
§ 1-1 反馈和反馈控制	1
§ 1-2 信息的获取、处理和发送	2
§ 1-3 微型计算机组成控制系统的几种形式	3
§ 1-4 微型计算机与控制规律	5
§ 1-5 微型计算机控制系统的程序设计与支援软件	8
第二章 微处理器	10
§ 2-1 什么是微处理器	10
§ 2-2 微处理器的主要特性及其选择	10
§ 2-3 介绍几种微处理器	12
第三章 存贮器	29
§ 3-1 存贮器的层次安排	29
§ 3-2 工作存贮器 (MOS 半导体存贮器)	30
§ 3-3 半导体静态随机存贮器 RAM	31
§ 3-4 64K 动态半导体 RAM	33
§ 3-5 可改写的只读存贮器 EPROM	36
§ 3-6 电改写的只读存贮器 E ² PROM	36
§ 3-7 存贮器 (RAM, EPROM) 同微处理器的连接	37
第四章 中断系统	40
§ 4-1 中断概念	40
§ 4-2 中断响应与中断服务程序	41
§ 4-3 多中断源的处理	44
§ 4-4 中断请求信号与中断响应时间	61
§ 4-5 8085CPU 与 Z-80CPU 的中断系统	62
§ 4-6 控制系统的时间基准与中断管理	64
第五章 输入输出接口电路	76
§ 5-1 并行接口电路	77
§ 5-2 Intel 8255 可编程并行接口芯片	80
§ 5-3 Z-80 PIO 可编程并行接口芯片	88
§ 5-4 简单并行通讯接口	94
§ 5-5 输入输出通道寻址	96
§ 5-6 RS-232 标准接口总线及串行接口芯片 8251	96
第六章 模数、数模转换电路及其与微处理器的连接	105
§ 6-1 模拟信号的采样与保持	105

§ 6-2	D/A 转换电路及与微处理器接口	107
§ 6-3	A/D 转换电路及其与微处理器接口	117
§ 6-4	采样保持电路	129
§ 6-5	多路模拟开关	132
§ 6-6	A/D、D/A 通道与 CPU 接口举例	134
第七章	高速微机数据采集系统	137
§ 7-1	Z-80 DMA 控制器	138
§ 7-2	Intel 公司 DMA 控制器 8257 芯片	154
§ 7-3	数据采集系统中 DMA 控制器的应用与接口电路	161
第八章	微机控制系统的人机联系——键盘、显示器和微型打印机	165
§ 8-1	键盘与接口电路	165
§ 8-2	数码显示器与接口电路	166
§ 8-3	键盘、数码显示器与 CPU 接口通用管理芯片 Intel 8279	167
§ 8-4	8279 的实用电路及简单的初始化程序设计	175
§ 8-5	键盘命令分析程序设计	177
§ 8-6	微型打印机	185
第九章	单片微型机	189
§ 9-1	概述	189
§ 9-2	8048 单片机结构与功能	191
§ 9-3	8048 外电路的扩展	197
§ 9-4	8048 指令系统	200
§ 9-5	8048 的应用举例	203
§ 9-6	8022 功能简介	209
第十章	控制用微型计算机系统设计	213
§ 10-1	小化肥工业造气炉的微机控制系统	214
§ 10-2	应用系统的功能模块结构与设计	215
§ 10-3	工业现场应用微机系统的特点	224
附录:	8231 的功能与应用	227
第十一章	分布式计算机控制系统与几种实用通讯方法	237
§ 11-1	微机与数字仪表间的数据传送	238
§ 11-2	按位应答传送方式	239
§ 11-3	RS-232 接口与简单串行 I/O 通道实现通讯	244
§ 11-4	网络技术在计算机分布控制中的应用	247
第十二章	实时控制系统常用程序设计举例	250
§ 12-1	键盘管理	250
§ 12-2	微机控制随动系统程序设计	251
§ 12-3	控制系统自寻最优程序设计	258
第十三章	微机控制系统的开发与开发系统	274
§ 13-1	概述	274

§ 13-2 微型计算机系统的简易开发	275
§ 13-3 微机开发系统 MICE	278
§ 13-4 通用开发系统	283
第十四章 实时操作系统	288
§ 14-1 微机控制的特点	288
§ 14-2 控制软件设计方法	288
§ 14-3 控制任务的分割与实时操作系统	290
§ 14-4 RMX-80 的功能	291
第十五章 微机用于控制的两个例子	298

第一章 微型计算机与实时控制系统

§ 1-1 反馈和反馈控制

控制论的创始人维纳在研究人与外界相互作用的关系时曾指出：“人通过感觉器官感知周围世界，在脑和神经系统中调整获得的信息。经过适当的存贮、校正、归纳和选择（处理）等过程而进入效应器官反作用于外部世界（输出），同时也通过象运动传感器末梢这类传感器再作用于中枢神经系统，将新接受的信息与原已贮存的信息结合在一起，影响并指挥将来的行动”〔维纳，《人有人的作用》，第9页〕。人与外界的交互作用可以是极简单的动作，例如拿取一只水杯，也可以是人们对社会生活的复杂反应，例如资本主义世界的罢工风潮。不管事件的复杂程度如何，其共同之处在于不断从外界获取信息，经过加工和处理并做出相应的响应，这是任何有目的运动（机械的或社会的）为达到预定效果的必经之路。这就是反馈与反馈控制的方法。很难设想，一个人不问效果如何，一直按

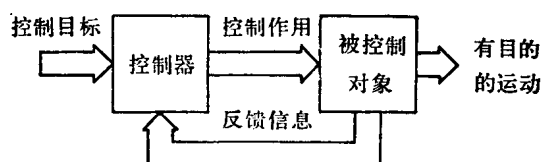


图1-1 反馈控制的基本结构

预定方针干到底时，能够达到什么好结果。

当代的控制工程无不建立在反馈控制理论基础之上。图 1-1 给出了反馈控制系统的基本结构。

控制器的任务在于不断采集那些用以描述系统运行状态的关键信息或全部信息，并做出为达到预定控制目标的判断与决策：用怎样的控制信号作用于对象，以便达到控制目标。控制目标的数值可以由外界根据需要不断馈给控制系统，也可以蕴含在控制器之中。系统的复杂程度既决定于受控对象本身，也依赖控制目标的提法和要求。因而，做为信息加工机构的控制器所应完成的任务，完全取决于系统功能的复杂程度。

具有高速数学处理和逻辑判断功能的数字式电子计算机是在任何复杂的反馈系统中实现控制器的有效手段。然而，在计算机造价高、体积大、耗能多的情况下，采用计算机控制并不都是经济和现实的。用计算机取代常规连续控制仪表，即所谓控制仪器数字化，并不是应用计算机的主要领域，因为它没有充分发挥计算机的潜在能力。直接数字控制（DDC）专用计算机在六十年代兴起，但没有得到推广的主要原因就是没有得到预计的效果。

微型计算机的发展，特别它的造价、尺寸和能耗急趋下降，为计算机在控制领域中的应用打开了新局面。它可以代替几乎所有的由中、小规模集成电路所组成的逻辑电路。

在一些控制规律复杂（不仅是比例、微分、积分运算）的情况下，微型机的作用不只是代替常规控制仪表，而是为控制工程开辟着新的领域——“智能控制”。

计算机参与控制的直接后果，就是增加信息处理的功能。计算机并没有改变控制规律，而是借助它，特别是微型机，把那些控制理论中过去只有理论意义的某些成果变为工程上的现实。哪里需要信息加工，哪里计算机的应用就更能取得明显效果。

微型计算机应用的另一个重要领域是在各种仪器、仪表以及机电设备中把微型机做为其中一个部件（如同通常的电子部件那样）增添其新的功能，即开发“智能”仪器和设备。这一应用领域的进展，将促进我国的许多工业产品的更新换代。

§ 1-2 信息的获取、处理和发送

微型计算机控制系统的基本组成如图 1-2 所示。

众所周知，数字计算机的加工对象是数字信号，它仅能以数字形式通过数字输入、输出（I/O）接口电路与外界交换信息。

为了适应数字控制，目前已有多种类型的数字式测量元件，例如脉冲式液体流量计，用于测量角度的光电或接触式编码盘以及用于测量直线位移的光栅等等。在这种情况下，中央处理单元（CPU）可以通过 I/O 接口电路直接获取关于被控对象运行状态的信息。然而，在许多时候，用以检测系统状态的一次测量仪表往往发送的是连续的电压或电流信号，这时就必须设置模拟量到数字量（A/D 转换）的转换电路，并向计算机输入转换后的数字信号。目前，单芯片 A/D 转换电路已在市场供应，转换的分辨率有 8 位（二进制）、10 位、12 位以及 16 位等，其转换时间在 $2\sim 200\mu s$ 不等。关

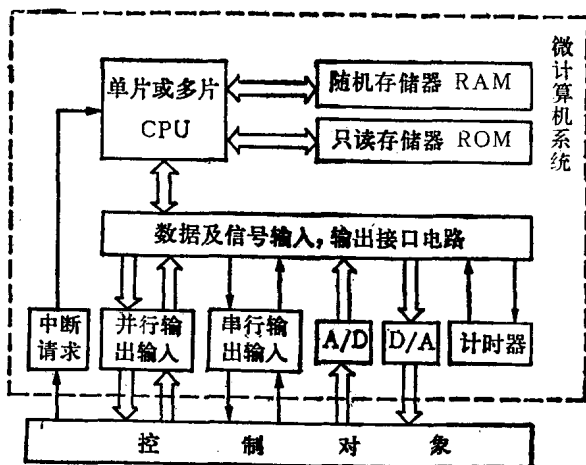


图1-2 微机控制系统的组成

于芯片的功能和使用方法读者可在第六章找到，更详细的说明可参考《微型计算机 A/D、D/A 转换与接口技术》——清华大学出版社 1984 年出版。

外界（控制环境）向 CPU 发送的另一类信息是中断申请信号。这类信号的到来，标志着要求 CPU 完成预定的操作，譬如 CPU 在接到设备的极限信号后应向操作人员发出音响警报信号以及定时器向 CPU 发出定时采样信号等。中断信号的特点是使 CPU 接到申请后，暂时中断执行正处于运行的程序而转向中断请求的处理程序。现代微处理器大多数均靠硬件迅速地直接转向与中断申请端相对应的程序入口，并称向量中断方法。对于 A/D 转换电路，通常需要计时器定时（其时间间隔可灵活地由程序设定）地向 CPU 发出中断信号，用以确定 A/D 转换的频度，称采样频率。在数据采集系统中，频率的下限一般由采样定理来限定，采样频率过低将会丢失信息，过高则会过多地增加 CPU 的

计算量, 这里, 合理地选择采样频率是很重要的, 其选择方法可参考《计算机控制》——清华大学出版社 1982 年出版, 刘植桢等编著。

数字信号处理是信息处理技术的一个重要分支, 并且已形成独立的技术领域, 譬如图像信息的数字处理, 语音信号的数字处理等。在控制工程中, 数字信号处理的类型主要分为两种: ①按预定控制规律提出算法, 并对输入信号直接运算和处理 (包括对输入数字信号的滤波等) ②在复杂的控制过程中对输入信号的处理并不是为了得到直接的控制决策或作用, 而是从大量的输入信号中提取那些有用的信息, 即对信息进行压缩。这一信息压缩的过程称特征抽取, 而控制决策直接依赖所抽取的特征值。我们可以看到, 如果属于第一种情况往往采用模拟电子技术 (特别运算过程是线性的时候)。但是, 第二种情况下, 使用数字计算机则更适宜、有效。特别是当信息处理过程不仅有数值运算, 同时有大量逻辑判断, 甚至包含演译和推理过程时, 恐怕只有数字计算机才能完成。

计算机的输出信号是加工后的控制作用与决策, 它也只能以数码形式出现, 它既可以代表数值的极性和大小, 也可以代表约定的确定信息。这些数码, 不管它们的含意是什么, 都是通过 I/O 通道传送出去。当控制系统执行机构所需要的信号形式是连续的时间函数时, 则必需通过 D/A 转换电路将数码转换为连续的电压信号。D/A 转换电路通常是由一组电子开关和解码网络组成, 并集成在一个芯片上。市场供应的单片 D/A 电路的精度有 8 位, 10 位, 12 位等, 其转换时间大体在 $100\sim 200\text{ns}$ 之间。

计算机与外界交换信息的通道称 I/O (输入, 输出) 通道, 它又分串行与并行两种。后面我们将详细介绍 I/O 接口电路的各种通用芯片。

数据采集是计算机参与控制获取原始信息的手段。当数据量大, 多回路, 而变化的信号要求实时采集时, 必须发展相应的数据采集技术和系统。这些在专门的章节里将会讨论。

I/O 通道是 CPU 与外界以数码形式交换信息的主要方式, 因而它是微机系统的重要组成部分。如果计算机接收与发送连续信号, 则需要经过 A/D 或 D/A 转换。外界与存储器直接交换数据 (不经过 CPU) 的方法称直接数据存取 DMA。当批量数据要求快速从 RAM 读/写时, 经常采用 DMA 方式, 在这种方式下 CPU 的数据总线、地址总线和控制总线全部由 DMA 控制器管理。

从控制对象那里采集信息, 按预定的规则通过加工和处理并反作用于被控制对象, 这就是如图 1-1 所示的闭环控制的信息流程。信息的采集、处理和发送是控制系统中计算机的主要功能, 也是唯一的功能。怎样设计用于上述目的的微型计算机并在工程上实现, 特别是如何从芯片或各种功能模块组成您的应用系统将是我们讨论的中心。

§ 1-3 微型计算机组成控制系统的几种形式

实现微机控制, 其结构可以分为单机和多机两种形式。

单机 (单 CPU) 控制大体又可分为如下几种情况。首先, 设备微机化 (或称“智能化”) 是微机应用的一个重要方面。现代“工业机械人”利用微机增加它的适应能力就是一个典型例子, 又如现代化机床以及高性能仪表无不带有微型计算机。总之, 工业产品“电脑化”是当今的发展趋势。广泛采用微机是工业产品换代的经济而先进的技术手段。

微型机既然是设备的一个组成部分，在结构上经常是单板形式，它是为某一设备而设计的专用单板机。为了区别那些以学习和训练为主要目的的学习用单板微型计算机，我们称前者为控制单板机。既然控制用单板机只是设备整体的一个部件（它经常以一个插件板形式出现），就应该在总机通电后即可投入正常运行，并通过该设备的职能按键（而不是计算机的那些通用键盘），如启动、停车等按键对计算机从而对整个设备进行操作。只有当非计算机的专业人员也能操作时，微机的推广才有坚实的基础。当然它的经济收益和技术效果是应用微型计算机的前题。

单机控制的另一种形式是做为多计算机控制系统的终端计算机或前沿计算机。它与被控制或测量对象直接交换信息，故常称为直接数字控制（DDC）计算机。在这种情况下，一台终端机往往控制若干台装置或设备，就其功能也许比前述的单板控制机要多，规模要大，甚至有一定的通用性。做为终端控制机，它必须能够与非终端的，更高一级的计算机进行通讯，则是它的又一个特点。

单机控制不管以上述哪种形式出现，对设计者来说，都必须掌握由芯片或功能模块组成用户系统的基本技能以及掌握系统调试方法。

当然，购买一台接口及外部设备齐全的通用微机系统，把它与被控制对象连接起来，也是实现微机控制系统的一种方式。但它通常是造价高、维修和操作复杂且不易推广。它适用于试验室，做为试验研究的工具和手段。

分布式多级计算机控制系统（DCCS）是多计算机控制系统中广为采用的一种形式。到83年底在国际范围已召开过有关DCCS的四次学术讨论会。从许多文献中所介绍的实际运行的多计算机控制系统中可以看到，分布系统是多微机控制系统的主要实施方式。

目前，对分布式控制系统虽然还没有标准定义，但公认的基本概念是，最简单的分布式系统是两个或更多的计算机互相通讯的系统。分布式系统可能有多形式：如分层、星形、网络、环形数据总线等等。

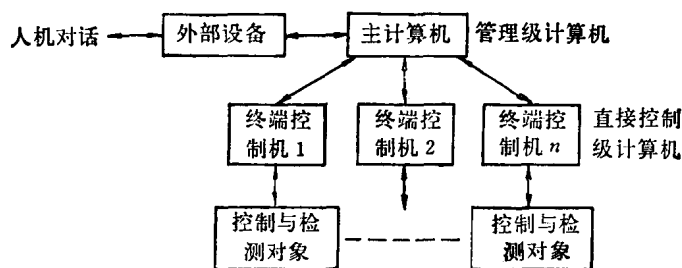


图1-3 主从式多级系统结构

图1-3是分布计算机控制系统的主从式两级结构。由于被控制对象往往布局分散，每一台终端控制机管理一个区域，并且独立地完成控制或检测功能，它是面向过程的直接控制机。这一级的实现通常采用前述的单板微型计算机系统。处于管理级的主计算机一般可采用那些通用的微型机或小型计算机系统。它有较完备的外部设备，可供记录系统运行状况、人机对话以及干预控制的进程等等。对设计者来说，在多机系统中，根据系统的规模，对主计算机只进行选型工作。然而，通讯方式的确定和实施以及通讯管理

程序设计则是设计者应完成的工作内容。管理级计算机应完成哪些任务，由控制系统的整体功能所确定。

§ 1-4 微型计算机与控制规律

微型计算机在控制系统中，总的说来，是起着控制器的作用，它是一个典型的数字式控制器。它的复杂程度完全取决于控制规律。最简单的情况可以是判断被控制的参数是否已达到某个数值，例如控制包装机所包装部件的个数。控制目标也可能是很复杂的，例如要求一个设备经常处于最佳工作状态或者要求生产某个产品的综合指标保持最优等等。上述情况称最优控制。显然，在实现最优控制时，控制器所应遵循的控制原则或称规律就会变得很复杂。即便对于后者，在大多数情况下微型计算机也都能胜任。

微型计算机做为数学控制器，它可代替几乎所有的经典数字控制器，顺序控制器和程序控制器等。利用微计算机不但研制周期短、改变运行程序灵活，便于调试和维修等，采用微机控制的费用也会大幅度的降低。我们仅举一个小例加以说明。且不说，程序控制机床引入微机是极其明显的趋势，我们仅分析所谓“程序固化”的过程。在传统的程控机床中，加工程序大多记录在穿孔纸带上，多次使用纸带不但极易出错，而且需要经常更新。为了使

纸带能够快速启、停，往往纸带输入机构也会变得极复杂。当然，取代纸带的记录介质有多种可能，例如利用半导体只读存储器作为记录加工程序介质的情况如图 1-4 所示。

如果加工程序不超过 2K 字节，则可以把它写在一片只读存储器内。为了适应用户加工程序变化较多的情况，最好由用户通过编程器（程序写入装置）把它写入可涂改的只读存储器 EPROM 里。CPU 可根据外部电路的请求，按一定的速率通过 I/O 通用接口芯片（关于各种芯片的性能和使用方法后续章节将详细讨论）发送出。可以看到，只用三片大规模集成电路就可以把机床的加工程序寄存起来并可根据需要将它发送给程控机床的控制电路。这要比使用纸带和纸带输入机简便、可靠而且要经济得多。

上述三片电路的目前国际市场零售价格不超过人民币 50 元。但是读者会说，国内市场价格要高得多。应该看到，这仅是我国大规模集成电路还处于落后状况的暂时现象。

如果 CPU（在图 1-4 中）仅完成上述从 EPROM 取数和把它经 I/O 通道发送出去，显然远没有得到充分利用。程序控制装置的主要功能是在给定的坐标点间实现数值插补。通俗点说，从纸带（或其它方法）上只能读出加工曲线的几个关键点，插补器的任务就是补足两点之间的刀具或工件的运动轨迹。显然，由 CPU 去完成插补器的功能，在多数情况下是易行的。在这种情况下 CPU 可以通过 I/O 通道直接驱动步进电机的功率放大器（见图 1-4 中的虚线部分）去控制步进电机的正反两个方向的转动，就可以省去

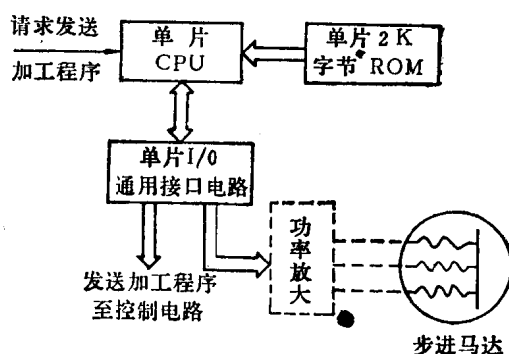


图1-4 加工程序固化逻辑框图

传统的分配器和脉冲发生电路等。在另一些应用场合,只要合理地编制计算机运行程序,使之发出变频信号,还可以做到步进马达的最优启动和制动的控制。

总之,通过上述小例,清楚地看到,用微型计算机代替经典的硬接线逻辑电路的可能与巨大潜力。但是为什么目前我们在这些方面的技术进展不大,甚至出现我们造机床而由外商配备微计算机控制装置的现象呢?这确实是一个值得深思的问题。正确地解释这些现象,应该承认,是很困难的。但是,肯定地说,只要我们的广大数控专家们,随着技术的进步,向微计算机技术再靠近一步,将会使微型计算机在应用领域里取得极大的进展。

反馈控制系统中最有效,在工业中也比较成熟的控制方法是采用微分和积分的校正方法,也叫P、I、D(比例、微分、积分)控制。模拟式电子P、I、D控制器早已是国家的系列产品。采用数字计算机代替它在工程和技术上并没有什么难点,这里只是用数值解法去求解微分方程。如果六十年代用体积庞大,价格昂贵的计算机集中控制代替常规控制仪表,不但经济收益甚微而且系统运行的可靠性也往往较差。那么今天采用微型机分布控制就会有较好的效果。特别在军事应用中,如火炮、雷达天线、指挥仪,特别是机载设备采用微型计算机控制,不但体积小、能耗少而且还可增添新的控制功能,从而使系统整体的经济和技术指标都得到提高。

从前面的分析可以看到,把微型计算机引入数字控制和常规的控制系统,从设计到调试以及从结构到成本都有明显的优点。然而,引入微型计算机的一个更突出的特点,则是借助计算机的功能可以实现更为复杂的控制规律,把控制工程推向更高的水平,例如实现最优控制,自适应控制以及自学习控制等,甚至可能赋予控制系统某些人类的智能。控制规律是控制理论的研究对象,虽然它已超出本书的讨论范围,但是微机的引入,使得许多复杂控制规律变得可能和易于实现。

最优控制,就是在系统的工作条件不变以及某些限制条件存在时,恰当地选择控制规律,使得系统的某种性能指标取得最大值或最小值。

自适应控制,系指系统的工作条件或对象自身变化的情况下,控制器仍有保持目标函数取得极值的功能,这种系统亦称自寻最优系统或极值控制系统。

如何确定最优化准则是与对象密切相联系的。这里系指广义的被控制对象,最简单的可以仅是一台电动机。也可能是整个的复杂生产过程。我们通常用目标函数 Q 描述优

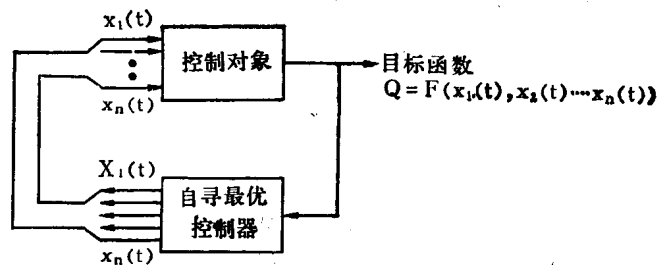


图1-5 自寻最优控制系统框图

化准则,自寻最优控制器的任务就是选择控制作用 $x_i(t)$ ($i = 1 \cdots n$)使目标函数 Q 取极值(极大值或极小值)。特别在函数 Q 随着时间和环境的变化而有所改变时自寻最优系统将仍然能使得目标函数取极值。

当目标函数 Q 的取值仅依赖于控制作用的稳态值 $x_i (i = 1 \cdots n)$ 时,它是自寻最优控制的一种特例。此时能够自动寻找目标函数极值的系统常称为极值控制系统。

我们不可能在这里详尽地讨论有关设计自寻最优系统的理论和方法。然而,我们却想通过分析某些应用的可能,使读者看到,微型计算机在解决复杂控制工程问题中所能起到的作用。

例如,远程飞机的一个重要飞行指标是每公斤燃料的可飞行距离。如果我们把

$Q = \frac{s}{g} (\text{km/kg})$ (式中 s —飞行距离, g —燃油耗量)当作控制的目标函数,它与发动机转速 n [转/分]的关系曲线有如图 1-6 所示。

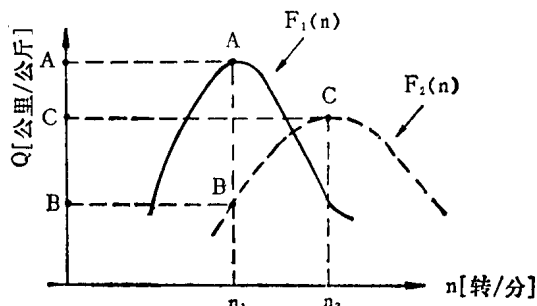


图1-6 远程飞机的极值特性

从图中 $F_1(n)$ 曲线可见到,把发动机控制在转速 n_1 时,在确定燃料储量的情况下可以达到最远的航程。当飞行高度或其它条件改变后, Q 与 n 的关系将发生变化(如图 1-6 中的虚线 $F_2(n)$ 所示)。如果依然保持发动机转速为 n_1 ,则目标函数 Q 不再取极大值 A ,而取值 B (因这时有 $F_2(n)$)。显然,此时若把转速提高到 n_2 ,飞机又可运行在最优状况下。一般情况,飞行员根据不同机型,不同飞行高度及不同机体重量,按着预先计算好的表格(叫飞行规范)控制发动机的转速以保证最远航程。但是,当飞行条件发生剧烈变化时,譬如机体受伤(这也往往是需要最远航程的时候),事前计算的飞行规范将严重偏离最优工况。如果控制器能测得飞行速度 $V (\text{km/h})$ 和燃油的消耗 $g (\text{kg/h})$,经除法运算就可以得目标函数 $Q = \frac{V}{g} (\text{km/kg})$ 。控制器若能够自动找到新情况下(例如图 1-6 的 $F_2(n)$)的极值点,即自动地把发动机的转速调整到 n_2 ,我们便得到了自寻最优控制系统。

寻找目标函数极值的过程称搜索。根据不同的搜索方法可以设计和建造各种类型的自寻最优控制器(或称极值调节器)。这里我们仅介绍一种称为梯度法的搜索过程,从而说明微机在极值控制系统中应用的可能与前景。

有 $Q = F(x_1, x_2 \cdots x_n)$

我们分别改变 x_i ,称 Δx_i 为试探步,并求得 ΔQ , (当试探步距足够小时,便可近似得到:

$$\frac{\partial Q}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta x_i} (i = 1 \cdots n)$$

此时目标函数的梯度可表示为:

$$\nabla Q = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{\Delta x_i} \cdot e_i$$

式中 $\frac{\Delta Q}{\Delta x_i}$ 是 $\frac{\partial Q}{\partial x_i}$ 的近似值, e_i 是单位向量。

求得梯度的分量 $\frac{\Delta Q}{\Delta x_i}$ 之后,沿梯度方向改变各控制作用 $\Delta x_i = \alpha \frac{\Delta Q}{\Delta x_i} (i = 1 \cdots n)$, Δx_i 称“工作步”,其中系数 α 是大于零的常数,它决定着工作步距的大小。每走

一步测量一次梯度，直至达到目标函数的极大值。（寻找极小值时，则系数 α 小于零）。

随着变量（ x_i ）的增多，求梯度变成了越来越费时间的步骤，因此采用所谓“最快下降法”可以改进自动搜索过程的品质。

最快下降法的工作过程如下，系统启动后第一步就是测量梯度 ∇Q 。为了表征工作点距离极大值的远近，定义：

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial Q}{\partial x_i} \right| \approx \sum_{i=1}^n |\Delta Q / \Delta x_i|。 \varepsilon \text{ 越小则表明越接近极值，就如同接近山顶时山的坡度总要减小那样。}$$

如果 ε 大于某一设定值 ε_1 则可选较大的系数 α ，称走“粗步”。反之，则选较小的系数 α ，称走“精步”。最快下降法的实质是每走一次工作步，测量一次目标函数的增量 ΔQ 。当 $\Delta Q > 0$ 时，则表明系统在向极大值（山顶）靠近，并继续走下去。只有当 ΔQ 改变符号时，即 $\Delta Q < 0$ ，再从新测量梯度，决定新的方向。

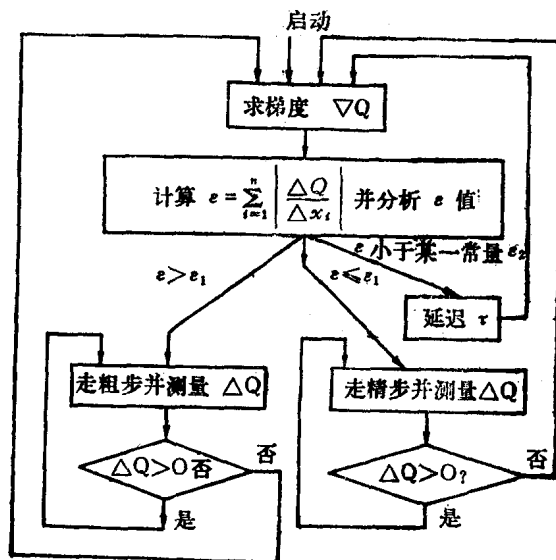


图1-7 “最快下降”搜索过程

依最快下降法搜索极值的流程如图 1-7 所示。当 ε 小于某一常量 ε_2 时，可认定系统已达到或接近极值，于是便可停止搜索过程，经一段时间 τ 后可再自行启动。当目标函数 $Q = F(x_1 \cdots x_n)$ 有明显变化时，再一次开始搜索过程，并可达到新的极值。

在这一小节里，我们从控制规律的角度分析了各种类型的自动控制系统，从最简单的计数控制到自寻最优控制系统。同时可以看到微型计算机控制的特点在于简化电路，易于改变控制规律，特别在复杂的控制系统中它的优点就更为明显。

§ 1-5 微型计算机控制系统的程序设计与支援软件

构成微机控制系统的设备常称硬件。如何从芯片组成计算机控制系统是本书着重讨论的内容。然而，众所周知，有计算机参与的系统中，计算机的运行完全依赖事先编排的计算机运行程序。由于程序只是语句（机器语言或高级算法语言）的有序集合，而不

是可感觉的设备，故常称为软件。虽然关于计算机程序设计的方法和理论是软件专家们的业务领域，但是作为从事计算机控制，特别微机控制的工程技术人员也应该对编制软件的基本技术有所了解和掌握，因为系统的每个设备（硬件）的运转都要通过计算机的接口电路，因而也都受控于计算机程序的执行。因此，用于控制的微型计算机系统设计过程中的每一步（从电路设计到试验调整）软、硬件都是密切联系着的。我们以简单的例子说明如下：例如微型机接口电路，为了提高它的通用性能，为用户提供方便，大多数是可编程的，也就是说，它可以根据给与它的不同命令，工作在不同的模式下。一个 I/O 通道可以做为输入也可以用于输出，一个计时器的计时周期的设定以及 A/D 或 D/A 转换的采样频率等等都是由计算机的指令控制的，这里硬件的功能是由程序决定的。

关于程序设计的一般方法，同样不是本书的讨论内容，因为学校设置了专门的课程。但是涉及微型机接口芯片如何在 CPU 控制下运转的时候，必然要考虑程序的设计与编排问题。因此，读者将会看到，每介绍一种微机接口电路的同时，都要介绍该电路运行时应如何安排程序，这就出现了软硬件同时分析和讨论的情况。其目的完全是为了使读者不仅对接口电路有一般的了解，而是学会真正的使用它。提供的程序段，可供读者在设计硬件和调试硬件时参考。

如果说，在计算机的一般应用领域，软件工程与硬件工程是分工较明确和严格的。但是在微型机的控制与应用领域里，控制工程人员不但对被控制的对象及控制目标应有比较深刻的了解，同时也还必须对计算机系统的硬件和软件的设计和调试方法了解和掌握。这是微机应用中的一个特点，它是设计高效能专用微机控制系统的重要基础。

用汇编语言编制用户程序是微机用于专门目的时最常见的方法。用汇编语言由一般水平的程序员编制的程序也会比高级语言程序节省存储空间和运算时间，这一点微机用于实时控制和实时信息处理都是十分重要的。总之，微机应用系统的设计者应该熟习所选型号 CPU 的指令系统，这将会帮助你合理地利用 CPU 的潜在功能。我们将结合应用系统的程序实例介绍编制用户程序的步骤，这也许比之一般地叙述更为实际和有用处。

为了帮助用户编制自己的应用软件，作为支援，我们在相应的章节里将提供一些实用的子程序。在软件商品化的国家，软件公司提供各种类型的应用软件包。也许不久，在国内也可购到编制应用程序的支援软件。希望编在本书中的常用程序，在现阶段能为用户提供方便。本书的程序设计一章主要是为控制工程人员提供参考。同时我们还将介绍实时操作系统的一般原理与使用方法，因为它是编制大型控制程序的重要支援软件。

结 论

微型计算机在各种控制系统，从简单到复杂的系统中都有着广泛的用途，它是提高系统性能的有力技术手段。

掌握从芯片或功能模块组成微机控制系统的技术和方法是建造经济、合理、实用的用户系统的技术基础。

控制工程人员，数控专家以及仪表专家们掌握微型计算机技术（包括硬件和软件），将为微机应用和推广打开新的局面。

第二章 微 处 理 器

§ 2-1 什么是微处理器

一个计算机通常由三大部分组成,如图 2-1 所示,一是存储器存放程序及数据;二是输入输出接口,通过它同外设打交道,这是为了进行实时控制所不能缺少的;其三是中央处理单元,它接收外部进来的数据进行处理,然后再送出去。中央处理单元具有算术运算、逻辑操作以及判断功能,同时还控制整个计算机的工作。中央处理单元同存储器及输入输出接口是通过总线进行连接,它们之间只有数据的流动,没有其他的操作。计算机是按一定定时时钟节拍进行工作,所以中央处理单元中还必须有定时控制部分。近十几年来由于 MOS 工艺的飞快发展,集成度愈来愈高,因此有条件将中央处理单元集成在一块或数块芯片上,封装在标准的双列直插引脚的管壳之内,我们称此中央处理单元为微处理器。如果引线过多则芯片上的压焊点将增加,从而扩大了管芯面积,降低了成品率,同时管脚增多势必导致测试设备的复杂性,造成测试设备昂贵,因此目前,八位微处理器都采用 40 个管脚。微处理器如果再配上存储器、输入输出接口就称为微型计算机,它再同外设(如 CRT,磁盘,磁带、行打印机)配合起来,装入相应的操作系统,这个整体就称之为微型计算机系统。

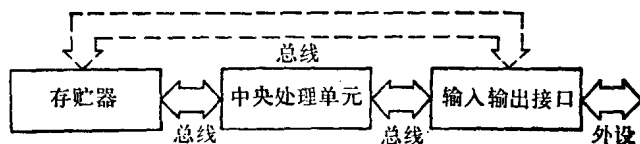


图2-1 微计算机结构框图

§ 2-2 微处理器的主要特性及其选择

正确选择微处理器是非常重要的,它将影响整个系统的特性。因此在研制系统时,必须对微处理器有深入的了解。目前微处理器发展十分迅速,新品种不断出现,老产品不断更新,品种十分繁杂,但它们具有共同的特性,我们可以对比分析,结合系统的要求,选择其中一种。现将共同特点分述如下:

1. 微处理器基本结构设计特点。通常微处理器结构要求设计成为通用,但仍可分为两大类,一类适合于控制,一类适合于数据处理,前者运算工作较差,后者运算功能较强。但有些微处理器设计成适合于这二个目的,尽管这样,它仍然要偏重在一个方面。一个微处理器的使用目的,可以通过字宽,指令系统以及硬、软件支援等判断出来。

非常狭的字宽,如 4 位微处理器,表明是面向控制的。使用这样窄的字宽很难完成精度高的和 ASCII 码的处理,但 4 只交通信号灯可以用 4 位码来表示。宽字宽的微处理

器往往表明它是面向数据处理的,如具有16位字宽的LSI-11,NOVA以及TMS9900等微处理器。微处理器的指令系统也可以说明微处理器的目的。如果在指令系统中没有算术移位和2的补码运算指令,这就不适合数据处理。8080八位微处理器只能处理非符号数,没有算术移位指令,因此8080是适合于控制而不太适合数据处理,其原因是8080是8008的改进型,而8008是微型控制器。Zilog生产的Z-80在指令系统中包含了一些算术移位指令,并设有溢出标志,因此Z-80具有较强的数据处理能力。从软、硬件支援也可看出微处理器的使用目的,如Intel的8086具有丰富的软、硬件支援,它是面向数据处理的微处理器。TMS-1000是面向控制的微处理器,因此它不具备磁盘控制器和存贮器管理单元。

2. 微处理器的字宽。这是指微处理器的数据总线所包含的并行线的数量。字愈宽则处理的算术值愈大,同时具备更多的单字节指令。字宽了以后,存贮器宽度也增加了,总线宽度也增加了,连接部分的宽度也增加了。因此要合理地选择字宽。前述的4位微处理器适合于小规模控制的目的。8位微处理器可以用于数据处理及较复杂的控制(如机械手,机器人等),它们当中有的偏重于数据处理,有的偏重于控制,有的是为这二个目的而设计的。在一些8位微处理器中,都具有双精度算术运算,这对一些数据处理是够用的了。16位字宽的微处理器都是以数据处理为主,兼顾控制应用方面的要求。

3. 处理速度。它是指执行应用程序时的速度,它取决于三种因素,一是微处理器时钟周期,二是执行一条指令所需周期数,三是指令系统本身。时钟周期愈短,则执行的速度愈快。但这并不能完全反映该微处理器处理速度,还要看执行一条指令所需周期数。一般说所有微处理器都不能在一个时钟周期执行完一条指令,而是需要几个甚至十几个周期(视指令性质而定)才能完成,因此不同微处理器对应相同的性能指令可以进行比较。有的时钟周期短但执行一条指令所需时钟周期多,而有的虽然时钟周期长,但执行这样指令所需时钟周期数少,因此要从整体权衡。其次要仔细分析指令系统,不能单纯考虑有多少种指令,而是要注意这些指令能干什么,特别要注意具备哪些寻址方式。在用于控制方面时,要注意输入输出指令,而对于面向数据处理的微处理器则要注意数据操作指令(算术移位,2的补码指令,以及算术循环指令,数据串处理指令等)。

4. 功耗。在对功耗有要求的一些场合,功耗指标是选择微处理器的一个重要因素。功耗决定于器件工艺、器件复杂程度以及时钟速度。字宽的机器要求有一套复杂电路去处理总线,因此消耗功率大,而4位机则消耗功率小,高速TTL微处理器消耗电力多,NMOS消耗功率是中等程度,CMOS消耗电力最少,因此16位以上的微处理器逐渐将采用CMOS电路。一般来说,微处理器在提高时钟频率以后,功耗都将增加,所以要注意工作频率的选择。

5. 中断功能。微处理器在应用过程中,有些任务要打断微处理器主程序的执行,而转向子程序以便处理该任务,因此要注意中断功能。特别在中断源很多时,应具备中断优先判断电路,如Intel公司生产的8259中断控制器。

6. DMA功能。DMA功能是指外部设备能直接对内存RAM进行存取,而不需要微处理器参与。DMA运行时要求微处理器将总线腾出。这样DMA性能可以减少微处理器的负担,而便于大量数据块的传送。因此,如果设计的系统要求外设同内存RAM进行直接传送,就要求微处理器具有DMA功能。Intel公司提供了8257DMA控制器,可