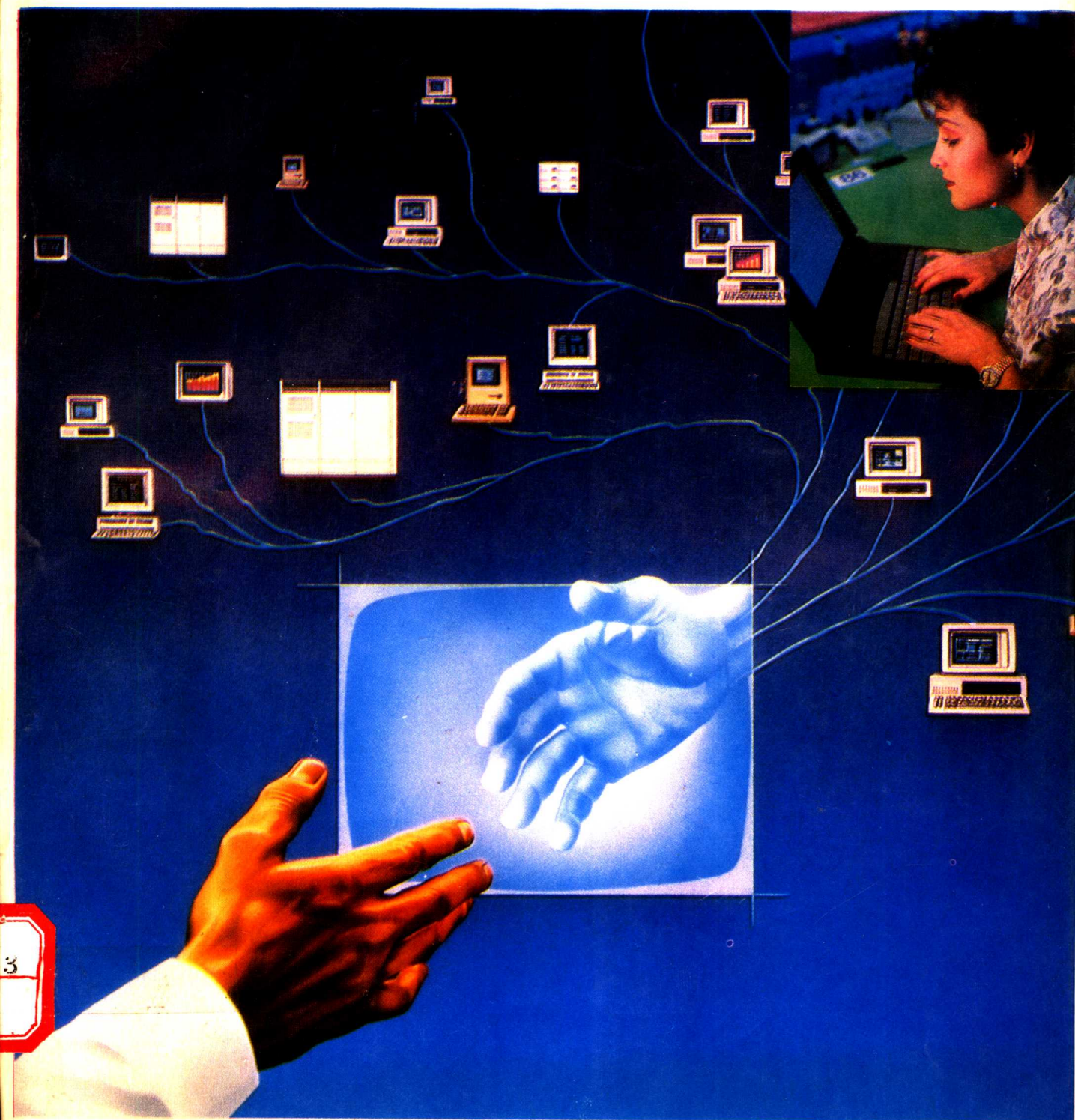


IBMPC系列微机 开发与应用

李伯成 候伯亨 编著



西安电子科技大学出版社

IBM PC 系列微型机开发与应用

李伯成 侯伯亨 龚 朴

西安电子科技大学出版社

1992

(陕)新登字010号

IBM PC 系列微型机开发与应用

李伯成 侯伯亨 龚 朴

责任编辑 徐德源

西安电子科技大学出版社出版

西安电子科技大学印刷厂印刷

新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 28.1875 字数 721.6 千字

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷 印数1—5000

ISBN-5606-0189-8/TP·064(课) 定价 23.50 元

前 言

我国微型计算机的应用近年来发展非常迅速,相应地对微型计算机的档次要求也在不断提高,由80年代中期的以8位微型计算机为主流,演变到目前的以16位微型机为主流。受这种微型机应用技术发展潮流的影响,许多从事微型机应用系统开发的工程技术人员,也面临需要进一步更新知识,了解和掌握16位机的有关技术知识和应用技术,以适应当前16位微型计算机应用技术的发展。

IBM PC机系列及与其相应的国产微型计算机是我国优选的机种,它们在我国已装备了几十万台。对这些微机系统的应用和开发是当前微型机应用领域的一个重要课题。为此,我们以IBM PC系列的微机系统应用为例编写了本书,以供从事微机应用技术研究的技术人员阅读和参考。

本书是在原《微处理机应用系统工程设计及其实例》一书的教学实践和历年来科研实践的基础上编写而成的。其内容着眼于解决IBM PC系列微机应用系统开发中的一些工程实践问题。书中从应用系统设计角度出发,对设计中所可能遇到的有关工程实践问题,逐个地进行了详细的论述,并附有大量可以实际使用的实例。这些例子的大多数在科研实践中已得到应用和验证。

本书在编写过程中力求简明扼要,深入浅出。为便于读者思考,在每一章后面还附有相应的习题。这样,就使它既能为具有一般微机技术基础的工程技术人员所使用,也可作为大专院校教师、学生的教科书或参考书使用。

全书共分十章。第一章对一般微型机应用系统的构成及其设计进行了扼要的概述。第二章介绍了各种总线标准及构成和扩展总线时应注意的一些具体问题。第三章介绍了存贮系统的设计及系统的瞬时掉电保护。第四章详细论述了目前常用的接口及接口技术,特别是对智能控制器的接口技术做了较大篇幅的说明。第五章对DOS操作系统的概况和使用方法作了介绍。第六章介绍了微机应用系统的监控程序,特别是对实时监控程序的结构和设计方案做了较详细的说明。第七章叙述了用户程序开发及混合编程的基本步骤和方法。第八章概述了系统的可靠性设计。第九章详细地介绍了微型机应用系统的调试和维修。第十章是一个微型机应用系统的设计实例。

本书第二、八、九章由李伯成执笔编写,第一、三、四、六、十章由侯伯亨执笔编写,第四章的CRT显示器接口及第五、七章由龚朴执笔编写。在本书编写过程中得到了校科研处、出版社的领导及有关同志的关心和支持,在这里向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误及不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

1992年5月于西安

内 容 简 介

本书以 IBM PC 系列微型计算机的开发应用为例,系统地介绍了微型机应用系统开发的全部工作过程及开发时应注意的一些实际工程问题。全书主要包括:应用系统设计的基本内容和步骤;微型机应用系统的总线;存贮系统设计;微型机应用系统常用接口;IBM PC 操作系统简介及使用;驻留监控程序与实时监控程序;用户程序开发及混合编程;系统的可靠性设计;系统调试与维修;最后以一个具体的微型机应用系统设计实例对本书做了概括总结。

本书最大的特点是从工程设计出发来介绍系统设计中的有关问题,全书所附有的大量工程应用实例,大部分都取自于历年来作者的科研成果。因此,读者只要通读全书,就可以按本书叙述的线索来自行设计微型机应用系统,书中的许多实例都可以直接移植。

本书简明扼要,深入浅出,内容系统,概念清楚,对于从事 IBM PC 系列机开发应用的广大工程技术人员来说,是一本很好的参考书;同时也是大专院校计算机专业师生的一本好教材。

目 录

第一章 微型机应用系统设计概述

§ 1-1 应用系统的一般构成	1
一、应用系统的硬件构成	1
二、应用系统的软件构成	3
§ 1-2 应用系统设计的基本原则和要求	5
一、操作性能要好	5
二、通用性好, 便于扩展	5
三、可靠性高	6
四、设计周期短、价格便宜	7
§ 1-3 应用系统设计的基本内容和步骤	8
一、估价控制系统引入微型机的必要性	8
二、分析被控对象的要求	8
三、选择基本微型机系统	8
四、确定整个应用系统的大体结构	9
五、硬件和软件的具体设计	10
习题	11

第二章 微型机应用系统的总线

§ 2-1 总线的一般概念	12
一、总线的分类	12
二、标准总线的优点	13
§ 2-2 系统总线	15
一、STD 总线	15
二、多总线 (MULTIBUS)	21
三、从 PC/XT 总线到 EISA 总线	27
§ 2-3 外总线	35
一、IEEE-488 总线	35
二、RS 232 C 及 RS 422(423)总线	41
三、SCSI 总线标准	47
四、CENTRONIC 总线	51
§ 2-4 总线的驱动与控制	53
一、总线竞争的概念	53
二、负载的计算	54
三、介绍几种芯片	55
四、PC/XT 总线驱动与控制	56
五、PC/XT 接口插板(卡)的板内驱动	58
六、Z 80 微型机总线的驱动及控制	62

§ 2-5 工程上应注意的一些问题	65
一、总线中的交叉串扰	65
二、总线的延时	67
三、总线上的反射与终端网络	68
习题	71
第三章 存贮系统设计	
§ 3-1 存贮系统设计概述	73
一、常用存贮器分类及各类的应用场合	73
二、存贮系统的几个主要技术指标	74
三、存贮系统设计的主要步骤	75
§ 3-2 存贮器地址译码方式及译码电路	77
一、全地址译码选择方式	77
二、局部地址译码选择方式	78
三、存贮器的地址译码电路	79
§ 3-3 随机存贮器与 CPU 的连接	82
一、SRAM 与系统总线的连接	82
二、DRAM 与系统总线的连接	88
§ 3-4 EPROM、E ² PROM 与 CPU 的连接	94
一、EPROM 的外部特性及编程步骤	94
二、E ² PROM 的外部特性及编程步骤	98
三、利用 RAM 作只读存贮器	101
§ 3-5 随机存贮器的瞬时掉电保护	102
一、概述	102
二、瞬时掉电保护实例	103
习题	106
第四章 微型机应用系统常用接口	
§ 4-1 键盘接口	107
一、键盘的基本结构	107
二、键值的确定	109
三、键盘接口	110
四、键盘扫描及译码程序	111
五、专用键盘接口芯片	112
§ 4-2 打印机接口	113
一、打印机接口总线	114
二、打印机串行接口电路及驱动程序	115
三、打印机并行接口电路及驱动程序	116
§ 4-3 光电隔离输入输出接口	120
一、光电隔离器件	121
二、光电隔离输入接口电路	121

三、光电隔离输出接口电路	121
四、应注意的几个问题	122
§ 4-4 数/模(D/A)变换器接口	123
一、D/A 变换器基本原理	123
二、D/A 芯片的几种典型输出连接方式	127
三、D/A 变换电路连接实例	128
四、如何根据系统要求选用合适的 D/A 变换器	129
§ 4-5 模/数(A/D)变换器接口	130
一、A/D 变换器的基本工作原理及结构	131
二、典型 A/D 变换器芯片介绍	133
三、A/D 变换器应用实例及其驱动程序	136
§ 4-6 RS 232 C 通信接口	142
一、概述	142
二、RS 232 C 电流环接口	145
三、RS 232 C 接口实例	146
四、串行异步通信接口驱动程序	146
五、多路 RS 232 C 控制器	150
§ 4-7 步进电机接口	152
一、步进电机的基本工作原理	152
二、脉冲分配器及驱动放大电路	154
三、步进电机接口实例	158
§ 4-8 智能控制器的接口	158
一、概述	158
二、主处理器和智能控制器的公共总线连接方式	161
三、双端口存储器连接方式	166
四、主机与智能控制器接口实例	169
§ 4-9 CRT 显示器接口	187
一、图形显示器的原理概述	187
二、CRT 显示器的显示模式	189
三、CRT 显示控制器 CRTC	191
四、CRTC 的连接使用	194
五、常用 CRT 接口板 CGA 及其控制程序设计	195
六、EGA/VGA 简介	202
习题	207
第五章 IBM PC 操作系统简介及使用	
§ 5-1 概述	212
一、操作系统的基本概念	212
二、操作系统分类	212
三、操作系统的结构	215

四、DOS 的中断系统	219
§ 5-2 操作系统常用命令介绍	222
一、DOS 的内部命令	224
二、DOS 的外部命令	230
§ 5-3 IBM PC 系统的使用	235
一、系统的启动	235
二、磁盘管理	236
三、用户设备的驱动	244
习题	265
第六章 驻留监控程序与实时监控程序	
§ 6-1 驻留监控程序	266
一、概述	266
二、驻留监控程序的一般结构	266
三、驻留监控程序各层次包含的主要内容	267
四、驻留监控程序实例	268
§ 6-2 实时监控程序	269
一、概述	269
二、实时监控程序的一般介绍	272
三、实时监控程序的基本结构	275
四、实时监控程序实例	283
习题	299
第七章 用户程序开发及混合编程	
§ 7-1 用户程序的基本要求及开发过程	300
一、用户程序的基本要求	300
二、用户程序的主要开发步骤	301
§ 7-2 高级语言与汇编语言的接口	309
一、汇编程序(过程)的编写	309
二、C 语言对汇编程序的调用	313
三、FORTRAN 语言和 PASCAL 语言与汇编程序的接口	318
习题	320
第八章 系统的可靠性设计	
§ 8-1 概述	321
一、可靠性的基本概念	321
二、故障来源	324
§ 8-2 故障检测技术	325
一、微机应用系统的脱机自检	325
二、微机系统的在线故障检测	333
§ 8-3 硬件可靠性设计	345
一、硬件故障	345

二、影响硬件可靠性的因素	345
三、硬件可靠性措施	350
§ 8-4 软件可靠性设计	357
一、软件故障的特点	357
二、软件错误的来源	357
三、软件可靠性模型	359
四、提高软件可靠性的方法	361
§ 8-5 系统的抗干扰设计	365
一、抗干扰的三要素	365
二、系统的抗干扰措施	366
§ 8-6 可靠性的总体考虑	376
一、设计过程	377
二、可靠性的分配方法	378
习题	382
第九章 系统调试与维修	
§ 9-1 测试仪器简介	384
一、静态测试仪器	384
二、动态测试仪器	385
§ 9-2 微型机应用系统的调试	393
一、静态调试	393
二、动态调试	394
§ 9-3 系统故障的检测与维修	401
一、故障的诊断方法概述	401
二、人工诊断	402
三、自动诊断	409
习题	413
第十章 微型机应用系统设计实例	
§ 10-1 概述	415
一、任务的提出	415
二、系统方案的确定	416
§ 10-2 电炉温度控制系统的硬件设计	417
一、I/O 总线驱动插件板	418
二、A/D 接口插件板	422
三、D/A 接口插件板	426
四、开关量输入输出接口插件板	426
§ 10-3 电炉温度控制系统的软件设计	430
一、电炉温度控制系统软件的结构	430
二、用户程序模块的划分及各模块的功能	431
三、掉电和超时检测的处理	433

附录 A PC 系列机及其兼容机的全部中断及其功能	436
附录 B DOS 系统功能调用总数	439
参考文献	442

第一章 微型机应用系统设计概述

微型机应用系统，由于应用场合不同，其规模大小和形式也各不相同，如有的要用 80386、80486 微型计算机作为主机来构成系统；而有的却只要以单片机为主控器来构成系统。功能强的系统，要求配备的接口和外围设备就多；而功能弱的系统，所带的接口和外围设备可以很少。尽管如此，从总体上来说，要设计一个实用的微型机应用系统，所面临的技术问题及设计步骤大体上是相同的。在这一章里，我们首先介绍一下应用系统的一般概念和设计应用系统时应考虑的基本问题，以及大致的系统设计步骤：以图使读者在阅读本书的其它章节以前，能对微型机应用系统的设计过程和要涉及的问题，有一个基本的了解。

§ 1-1 应用系统的一般构成

一、应用系统的硬件构成

微型机应用系统的一般构成框图如图 1-1 所示。由图 1-1 可知，该系统除微型机主机以外，还包含以下几大部分：常规外围设备、接口设备、监视报警设备及操作控制台等。下面我们对各部分作一简要说明。

1. 微型机

微型机是整个系统的核心，其他所有设备都要在它的指挥下进行工作，因此称它为主机。

在系统控制或监测过程中，主机能自动接收被控或被测对象送来的各种信息。在微型机内，按人们事先安排好的程序，对这些信息进行加工运算、判别及分析，并作出相应的控制和处理决策，以信息形式再回送给被控或被测的对象，从而实现对被控或被测对象的自动控制。

微型机中的程序和有关的初始数据，是人们事先编排好的。在操作前，通过输入设备输入或事前将其固化在 ROM 中。一旦系统被引导启动，微型机就会按顺序取出一条条所存贮的指令，并执行之。这样，系统就会按人们原先设想的规律，一步一步地完成整个系统的控制和监测过程。

用于控制和监测的微型机与以科学计算及其他用途的计算机相比，应考虑以下几个特殊要求：

① 由于控制或监测过程是需要连续不断地进行的，因而对系统的可靠性要求较高。对微型机的可靠性要求相应地也要高一些。

②微型机在系统中要及时处理各种各样的控制请求及管理系统所属的设备，所以要求它具有丰富的指令功能，灵活的输入输出操作和较强的计算和控制能力。

③要具有完备的中断系统，以便对多个对象实现并行控制和监测。

④价格要便宜，体积尽可能小，抗干扰性能要好。

⑤在大多数情况下，对精度和速度要求可以稍低一些。

从上述要求来看，只要选择得当，众多类型的微型机是完全可以满足这些要求的。

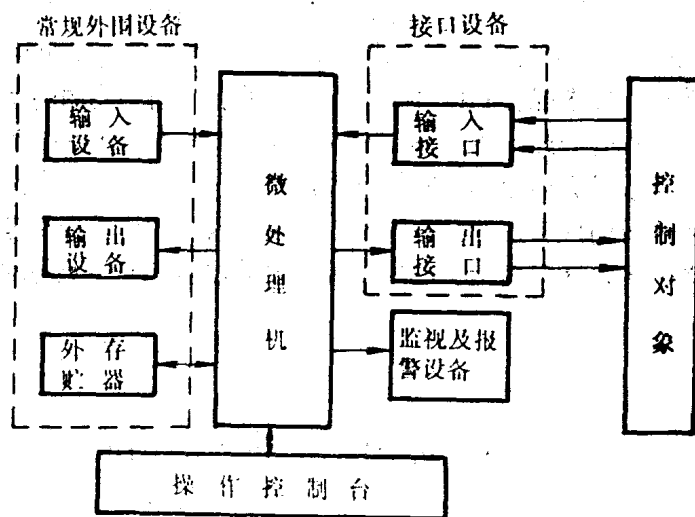


图 1-1 微型机应用系统的一般构成

2. 常规外围设备

常规外围设备是微型机应用系统中必不可少的一些设备，按其功能它可以分成三类：输入设备，输出设备和外存贮器。

输入设备主要用于程序和数据的输入，常见的有纸带阅读机、键盘、鼠标器和光笔等。

输出设备主要用于输出程序及处理以后的信息或数据。它把各种处理过的信息和数据，以人们能够直观接受的形式(如字符、数字、图形)提供给操作人员，以便使操作人员能及时了解微型机内部及整个应用系统的工作情况。常见的输出设备有打印机、X-Y 记录仪和显示器等。

常规外围设备还包括外存贮器，如磁带机、磁盘(硬盘和软盘)、光盘等。它主要用来存贮程序及有关的数据。

3. 接口设备

接口设备是应用系统与被控或被测对象之间进行信息变换和信息传递的设备。它应包括输入接口和输出接口。接口设备通常应具备以下几个功能：

①它能为微型机提供一个输入和输出的通道。

②它对输入输出信息进行信息形式的匹配，如 A/D、D/A 转换，串—并、并—串转

换及信息格式的转换等。

③输入输出电平匹配。微型机的输入输出电平往往是 TTL 电平，而被控对象所要求的输入输出电平，其规格较多。为此，接口应具备电平转换功能。

④负载匹配。微型机的输出负载能力是比较小的，为了使系统能够控制大功率的被控对象，接口也应具备驱动和功率放大的能力。

⑤同步。微型机的工作速度是比较高的，而一般受控对象所要求的控制速率却较低。这样，为了使微型机的工作速度和外界受控对象所要求的控制速度相匹配，就要由接口设备的同步机构来实现内、外的速率同步。

尽管对微型机接口设备要求较多，但并不是每种接口都应具备上述功能，要求的多少往往视接口的对象而定。目前各器件生产厂家都生产了配套的输入输出接口芯片，因此使接口设计已变得比较容易，通常只要作少量的硬件工作就可以将微型机与被控或被测对象连接起来。

4. 操作控制台及监视报警设备

微型机应用系统在正常工作时，并不需要人直接参与，但是无论如何，必须使人-机保持密切的联系。这是因为，系统在运行过程中，操作人员需要对运行状态进行监视。在系统发生故障时，必须能自动报警。而后，操作人员通过控制台上的按键进行干预。另外，当需要修改控制程序和控制参数时，同样也要通过控制台上的键盘或按键对系统的工作进行干预。

根据上述要求，操作控制台应包含控制按键、面板显示和报警显示器等，在某些系统中，为了调试和工作方便，在控制台上还装有手动转换装置，以便在人工方式时，对被控对象进行操纵。

二、应用系统的软件构成

要使微型机应用系统能正常进行工作，就必须在微型机内存中存放一定的程序。系统管理需要程序；对某些对象进行控制和监测也需要程序。可以这么说，微型机应用系统的硬件是系统的躯体，而软件(即各种程序的集合)是整个系统的灵魂。不配备任何软件的微型机，我们称它为物理机或裸机。它和刚诞生的婴儿一样，只能具有有限的基本功能。一个小孩将来可以成为一个伟大的科学家，也可以成为一个无所事事的人。这主要取决于他本人和社会如何对它进行灌输。也就是说，在他的脑子中给他灌输怎样的知识。与此比喻相同，一台微型机，如给它配备简单的软件，它只能作简单的工作；如给它配上功能强的软件，它就可以完成复杂的工作。用户在设计微型机应用系统时，总会有一个基本设想，使它具有某种控制或监测功能。用户根据这种设想，配上相应的软件，就能实现满足用户特定要求的系统。在目前，随着大规模集成电路的发展，微型机应用系统的硬件价格正在不断下降，而与此形成鲜明对照的是，软件价格愈来愈高。从这个意义上来看，今后软件的重要性将会进一步提高。

不同的控制对象和不同的控制任务，在系统软件构成上会有很大区别。一般来说，只有系统硬件确定以后，才能完全确定如何配置系统的软件。但是，这并不意味着系统的软件构成是不可捉摸的。一般根据其功能，大体可以分成以下几个部分。

1. 用户程序

在微型机应用系统中, 对每个控制对象或控制任务都一定配有相应的控制程序, 这些程序用来完成对各被控对象的不同控制。例如, 我们要控制一台机床, 对构件进行切削加工, 就必须配备一个切削加工程序。通常称这种为了各种应用目的(控制、监测等)而编制的程序为应用程序或用户程序。

编写应用程序的工作, 一般都由用户自己开发完成。用户可以根据微型机应用系统的资源配备情况, 确定使用何种语言来编写用户程序, 既可以用高级语言也可以用汇编语言。高级语言功能强, 且比较近似于人们日常生活用语习惯, 因此比较容易编写; 而用汇编语言编写的程序则具有执行速度快, 对端口操作灵活的特点。这样, 在当前, 人们通常用高级语言和汇编语言混合编程的方法来编写用户程序。

在微型机应用系统中, 用户程序是一个用于对被控对象进行直接控制的程序。因此, 它将对控制对象产生决定性的影响, 即用户程序的优劣, 会给系统的精度、可靠性及工作效率带来致命的影响。

2. 常用子程序库

一个微型机应用系统的基本功能受到硬件结构和拥有的资源所限制, 例如, 一般不能用硬件进行数制变换和数据采集等, 而这样一些功能是应用系统要经常用到的。为此, 我们采用子程序的方式, 来满足系统用户程序的要求, 即将这样一些功能, 编成一个个子程序, 放在子程序库中, 系统需要时, 可以随意调用。

子程序库中的子程序都编成标准的形式, 一般都要规定入口参数、入口地址、出口参数等。只要按其规定, 即可在主程序中随意调用。

3. 操作系统

一般从市面上买来的微型机都配有操作系统。操作系统是一个系统程序, 它由多个不同功能和作用的程序模块所组成, 是一个程序的集合体。在应用系统中, 各程序模块之间存在着复杂的逻辑关系和时间关系。它们之间不仅有运行的独立性, 而且还有运行的并行性, 即随着系统控制过程的发展, 在某一个时刻可能出现多个任务的不同请求, 这就形成了几个程序同时要求运行的情况。这种情况称为任务对微型机资源的竞争。在这种情况下, 系统必须实时地响应这些请求, 根据轻重缓急, 妥善地处理好这种竞争, 使对所有请求都得到相应的满足。除此之外, 操作系统还要对其他资源, 如外围设备、内存等实施管理; 还要对人-机通信进行管理。

总之, 操作系统将给人们使用微型机系统提供一个方便的使用环境。

在某些小型的微型机中(如单板机), 由于受到硬件资源的限制, 它不可能配备操作系统这样规模大的系统程序。因此, 通常配备一个为人们提供最基本操作环境的驻留监控程序。当然, 这种驻留监控程序的规模也和系统有关, 功能强弱也各不相同。

§ 1-2 应用系统设计的基本原则和要求

微型机应用系统的基本设计原则和要求,在不同规模和要求的大体是相同的,因此这些共同的原则和要求在设计前或设计过程中都必须予以很好考虑。

一、操作性能要好

对一个微型机应用系统来说,所谓操作性能要好,就是系统的人-机界面要友好,操作起来方便且便于维护。为此,我们在设计整个系统的硬件和软件时,都应处处想到这一点。例如,我们在考虑系统软件时,就应该考虑配什么样的软件和环境,能降低操作人员对某些专业知识的要求。前面已经提到,系统中的某些用户程序是要由用户自己编写的。例如,在数控设备中,加工切削程序往往要由操作人员来编写或进行修改。如果这样的用户程序是用汇编语言写成的,那么对操作人员来说,就必须熟悉相应微型机的汇编指令和程序设计的基本知识,否则是难于胜任的。这种软件设计方案必然会限制微型机应用系统的推广和应用。事实上,如果我们在系统上配上高级语言,特别是配上像工业控制中常用的数控语言,那么加工程序的编制就非常容易,一般操作人员就能很快掌握。这样就有利于微型机应用系统的推广和应用。对硬件方面的要求也一样,例如,系统的控制开关不能太多、太复杂;操作顺序要简单等。

另外,尽管微型机应用系统的可靠性较高,但是总不能想象它不会发生故障。一旦故障发生,如何能尽快地排除,这也是系统设计时要考虑的问题。从软件角度来说,系统应配置自检或诊断程序,以便在故障发生时,能用程序来查找故障发生的部位,以缩短排除故障的时间。从硬件角度来说,零部件的配置应便于操作人员检修。

当然,还有一些其他要求,如控制台要便于操作人员工作,显示器的颜色要和谐等等,凡是涉及人-机工程的一切问题都应逐一加以考虑。

二、通用性好,便于扩展

一般来说,一个微型机应用系统,在工作时都能同时控制几台设备工作。但是,在大多数情况下,各设备的控制要求往往是有区别的。另外,所控制的设备也不是一成不变的,而要经常不断地进行更新。这就要求系统不仅能适应各种不同设备的要求,而且也要考虑在设备更新时,整个系统不需要大改就能马上适应新的情况。这就要求系统的通用性要好,在必要时能灵活地进行扩充。

微型机应用系统要达到这样的要求,就必须尽可能地标准化。例如,尽可能采用通用的系统总线结构,像采用 STD 总线、AT 总线、MULTIBUS 总线等。在需要扩充时,只要加一些相应的接口插件板就能实现对所扩充的设备进行控制。另外,接口部件尽量采用标准通用的大规模集成电路芯片。在考虑软件时,只要速度允许,就尽可能把接口硬件部分的操作功能用软件来替代。这样在改变被控设备时,就可以无须变动或少变动硬件,只要改变软件就行了。

系统的各项设计指标留有一定余量，也是可扩充的首要条件。例如，微型机的工作速度如果在设计时不留有一定余量，那么要想再进行系统扩充是完全不可能的。其他如电源功率、内存容量、输入输出通道等也应留有一定的余量。

三、可靠性高

对任何微型机应用系统来说，尽管各种各样的要求很多。但是，可靠性是最突出和最重要的一个基本要求。因为一个系统能否长时期地正常工作，将要影响到整个装置、整个车间，乃至整个工厂的正常生产。一旦故障发生，会造成整个生产过程的全面混乱，从而引起严重后果。所以对可靠性有很高的要求。特别是作为控制核心的微型机，其可靠性要求则更高。

在小型计算机时代，由于硬件价格较高，因此，一个应用系统一般只配备一台计算机。这样一旦小型计算机出现故障，整个系统将处于瘫痪。随着价格低廉的微型机出现，人们通常采用多微机系统形式来构成一个应用系统。即将应用系统分成若干个功能模块，每个功能模块由一个微型机来进行控制，并将各个微型机用网络连接起来，构成一个有机的多机系统。这样，功能分布了，危险也相应分散了。即使工作过程中某一台微型机发生了故障，也不至于使整个系统瘫痪。当前常见的形式有：

1. 采用双机系统

在这种系统中，用两台微型机作为系统的核心控制器。由于两台微型机同时发生故障的概率很小，从而大大提高了系统的可靠性。双机系统中两台微型机的工作方式，常见的有以下几种。

① 备份机工作方式：在这种方式中，一台微型机投入系统运行，另一台虽然也同样处于运行状态，但是它是脱离系统的，只是作为系统的一台备份机。当投入系统运行的那一台微型机出现故障时，通过专门的程序和切换装置，自动地把备份机切入系统，以保持系统正常运行。被替换下来的微型机经修复后，就变成系统的备份机，这样可使系统不因主机故障而影响系统正常工作。

② 主-从工作方式：这种方式是两台微型机同时投入系统运行。在正常情况下，这两台微型机分别执行不同任务。如一台微型机可以承担系统的主要控制工作，而另一台可以执行诸如数据处理等一般性的工作。当其中一台发生故障时，故障机能自动地脱离系统，另一台微型机就自动地承担起系统的所有任务，以保证系统的正常工作。

③ 双工工作方式：这种方式也是两台微型机同时投入系统运行，但是它不同于主-从

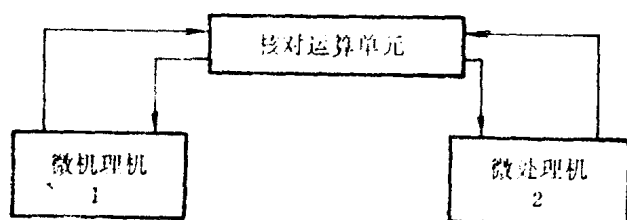


图 1-2 双工系统示意图

工作方式。两台微型机在任何时刻都是同步执行一个任务，并把结果送到一个专门装置去核对，如图 1-2 所示。如果两台微型机输出经核对后符合，则说明两台都处于正常工作状态，可以把核对的结果输出至被控对象或设备。如果两个结果不符，则说明