

单片机原理及其接口技术

胡汉才 编著



清华大学出版社

17-53.12
11.5.12

单片机原理及其接口技术

胡汉才 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书系统地论述 MCS-51 单片机的组成原理、指令系统和汇编语言程序设计、系统扩张、中断系统和接口技术、总线和语言报警等问题,并结合实例对单片机应用系统的设计、开发、调试和故障诊断等进行了专门讨论。全书共分 13 章,每章末尾都附有一定数量习题和思考题。

本书在编写过程中参考了大量最新资料,吸取了不少单片机应用新成果。全书内容自成体系、结构紧凑,前后呼应和语言通俗,因而具有一定的先进性、系统性和实用性。

本书可作为高等院校的单片机教材,也可作为广大科技人员的自学参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及其接口技术/胡汉才编著. —北京:清华大学出版社,1996
ISBN 7-302-02107-4

I. 单… II. 胡… III. 单片式计算机-接口-技术 IV. TP368.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 02829 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者:北京市海淀区清华园印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:32.25 字数:761 千字

版 次:1996 年 7 月第 1 版 1996 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02107-4/TP·987

印 数:0001—5000

定 价:32.00 元

前 言

单片微型计算机简称为单片机,又称为微控制器,是微型计算机的一个重要分支。单片机是70年代中期发展起来的一种大规模集成电路芯片,是集CPU、RAM、ROM、I/O接口和中断系统于同一硅片的器件。80年代以来,单片机发展迅速,各类新产品不断涌现,出现了许多高性能新型机种,现已逐渐成为工厂自动化和各控制领域的支柱产业之一。

在国内,由于单片机具有功能强、体积小、可靠性好和价格便宜等独特优点,因而受到人们高度重视,取得了一系列科研成果,成为传统工业技术改造和新产品更新换代的理想机种,具有广阔的发展前景。为了适应单片机的这一应用新形势和工科院校开设单片机课程的需要,作者特地结合自身的教学和科研实践编著了本书,奉献给广大读者。

本书以MCS-51系列单片机为主线,全面而翔实地论述了单片机应用系统的结构、原理和应用。全书结构紧凑、章节编排合理,具有一定的通用性、系统性和实用性,文句力求简炼、深入浅出和通俗易懂。本书共分13章,第1章是微型计算机基础,第2—6章为单片机原理(含半导体存储器与中断)和汇编语言程序设计,第7—12章为单片机接口技术,包括I/O接口、A/D和D/A、总线和驱动技术以及语言报警等,第13章为实验指导。

本书在编写和出版过程中得到了朱敦名和林美雄两位先生的大力支持和指导,顾玉珍、陈建红和刘晓璐为本书有关章节提出了修改意见,胡芸和胡萍为本书整理了大量资料和图片,吉萍为本书绘制了全部插图。对于上述同志以及和本书出版有关人员,在此谨向他们表示诚挚谢意。

由于时间仓促和水平所限,书中一定存在一些错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

1995年6月

目 录

第 1 章 微型计算机基础	1	2.2 MCS-51 单片机引脚功能	57
1.1 微型计算机概述	1	2.2.1 MCS-51 单片机引脚 功能	57
1.1.1 微型计算机的概念	1	2.2.2 8031 对片外存储器的 连接	60
1.1.2 微型计算机的发展	3	2.3 MCS-51 单片机工作方式	62
1.1.3 微型计算机的应用	7	2.3.1 复位方式	62
1.2 微型计算机数制及其转换	9	2.3.2 程序执行方式	63
1.2.1 微型计算机的数制	9	2.3.3 节电工作方式	63
1.2.2 微型计算机数制间的转换	11	2.3.4 编程和校验方式	66
1.3 微型计算机的二进制数运算	14	2.4 MCS-51 单片机时序	68
1.3.1 算术运算	15	2.4.1 机器周期和指令周期	68
1.3.2 逻辑运算	18	2.4.2 MCS-51 指令的取指/执行 时序	69
1.4 微型计算机码制和编码	20	2.4.3 访问片外 ROM/RAM 的指令时序	70
1.4.1 微型计算机中数的表示 方法	20	习题与思考题	72
1.4.2 微型计算机的原码、反码 和补码	21	第 3 章 MCS-51 单片机指令系统	74
1.4.3 微型计算机的二进制编码	25	3.1 概述	74
1.5 微型计算机组成原理	28	3.1.1 指令格式	74
1.5.1 微型计算机的基本结构	28	3.1.2 指令的三种表示形式	74
1.5.2 微型计算机的基本原理	32	3.1.3 指令的字节数	75
1.5.3 微型计算机系统的组成	35	3.1.4 指令的分类	77
1.6 单片微型计算机概述	37	3.1.5 指令系统综述	78
1.6.1 单片机的分代和发展	37	3.2 寻址方式	79
1.6.2 单片机的内部结构	38	3.2.1 寄存器寻址	79
1.6.3 典型单片机性能概览	39	3.2.2 直接寻址	79
1.6.4 单片机在工业控制中的 应用	43	3.2.3 立即寻址	81
习题与思考题	44	3.2.4 寄存器间址	81
第 2 章 MCS-51 单片机结构和 时序	46	3.2.5 变址寻址	82
2.1 MCS-51 单片机内部结构	46	3.2.6 相对寻址	83
2.1.1 CPU 结构	46	3.2.7 位寻址	83
2.1.2 存储器结构	52	3.3 数据传送指令	84
2.1.3 I/O 端口	55	3.3.1 内部数据传送指令 (15 条)	84
2.1.4 定时器/计数器	56	3.3.2 外部数据传送指令(7 条)	88
2.1.5 中断系统	56		

3.3.3 堆栈操作指令(2条)	90	5.2.3 EPROM 存储器原理	170
3.3.4 数据交换指令(4条)	91	5.2.4 ROM 存储器举例	171
3.4 算术运算和移位指令	92	5.3 随机存取存储器 RAM	177
3.4.1 算术运算指令(24条)	92	5.3.1 静态 RAM 基本存储 电路	177
3.4.2 逻辑运算指令(20条)	99	5.3.2 动态 RAM 基本存储 电路	178
3.4.3 移位指令(5条)	103	5.3.3 RAM 存储器举例	179
3.5 控制转移和位操作指令	105	5.4 MCS-51 和外部存储器的连接	183
3.5.1 控制转移指令(17条)	105	5.4.1 连接中应考虑的问题	184
3.5.2 位操作指令(17条)	113	5.4.2 MCS-51 对外部 ROM 的连接	186
习题与思考题	117	5.4.3 MCS-51 对外部 RAM 的连接	187
第 4 章 汇编语言程序设计	120	5.4.4 MCS-51 对外部存储器 的连接	189
4.1 汇编语言的构成	120	习题与思考题	190
4.1.1 程序设计语言	120	第 6 章 MCS-51 中断系统	193
4.1.2 汇编语言格式	121	6.1 概述	193
4.1.3 汇编语言构成	123	6.1.1 中断的定义和作用	193
4.2 汇编语言源程序的设计和汇编	127	6.1.2 中断源	194
4.2.1 汇编语言程序设计步骤	127	6.1.3 中断分类	195
4.2.2 汇编语言源程序的汇编	129	6.1.4 中断嵌套	195
4.3 简单和分支程序设计	132	6.1.5 中断系统功能	196
4.3.1 简单程序设计	132	6.2 MCS-51 的中断系统	197
4.3.2 分支程序设计	134	6.2.1 MCS-51 的中断源和 中断标志	197
4.4 循环和查表程序设计	138	6.2.2 MCS-51 对中断请求 的控制	200
4.4.1 循环程序设计	138	6.2.3 MCS-51 对中断的响应	202
4.4.2 查表程序设计	144	6.2.4 MCS-51 对中断的响应 时间	203
4.5 子程序和运算程序设计	147	6.2.5 MCS-51 对中断请求的 撤除	204
4.5.1 子程序设计	147	6.2.6 MCS-51 中断系统的 初始化	205
4.5.2 运算程序设计	151	6.3 中断控制器 8259A	206
习题与思考题	159	6.3.1 8259 内部结构	206
第 5 章 半导体存储器	162	6.3.2 8259 引脚功能	208
5.1 半导体存储器基础	162	6.3.3 8259 命令字	208
5.1.1 半导体存储器的分类 和作用	162	6.3.4 8259 工作模式	215
5.1.2 半导体存储器的技术 指标	163	6.3.5 8259 级联	221
5.1.3 半导体存储器的发展 前景	164		
5.1.4 半导体存储器的基本 结构	165		
5.2 只读存储器 ROM	167		
5.2.1 掩模 ROM 存储器原理	168		
5.2.2 PROM 存储器原理	168		

6.4	MCS-51 对外部中断源的扩展	222	8.1	D/A 转换器	285
6.4.1	借用定时器溢出中断扩展外部中断源	222	8.1.1	D/A 转换器的原理	286
6.4.2	采用查询法扩展外部中断源	223	8.1.2	D/A 转换器的性能指标	287
6.4.3	采用 8259 扩展外部中断源	224	8.1.3	DAC0832	288
	习题与思考题	226	8.2	MCS-51 和 D/A 的接口	289
第 7 章	并行 I/O 接口	228	8.2.1	DAC 的应用	289
7.1	概述	228	8.2.2	MCS-51 对 8 位 DAC 的接口	292
7.1.1	I/O 接口的作用	229	8.2.3	MCS-51 对 12 位 DAC 的接口	295
7.1.2	外部设备的编址	229	8.3	A/D 转换器	297
7.1.3	I/O 数据的四种传送方式	231	8.3.1	逐次逼近式 A/D 转换原理	298
7.1.4	I/O 接口的类型	234	8.3.2	并行 A/D 转换原理	298
7.2	MCS-51 内部并行 I/O 口及其应用	234	8.3.3	A/D 转换器的性能指标	299
7.2.1	MCS-51 内部并行 I/O 端口	234	8.3.4	ADC0809	300
7.2.2	MCS-51 内部并行 I/O 端口的应用	236	8.4	MCS-51 和 A/D 的接口	303
7.3	并行 I/O 接口芯片	240	8.4.1	MCS-51 对 ADC0809 的接口	303
7.3.1	Intel 8255A	240	8.4.2	MCS-51 对 AD574A 的接口	305
7.3.2	Intel 8155	247		习题与思考题	308
7.4	MCS-51 并行 I/O 口的扩展	255	第 9 章	MCS-51 的串行通信	311
7.4.1	借用外部 RAM 地址扩展 I/O 端口	255	9.1	串行通信基础	311
7.4.2	采用 8255A 扩展 I/O 端口	257	9.1.1	串行通信的分类	311
7.4.3	采用 8155 扩展 I/O 端口	259	9.1.2	串行通信的制式	313
7.5	MCS-51 对 LED/键盘的接口	261	9.1.3	串行通信中的调制解调器	314
7.5.1	MCS-51 对 LED 的接口	261	9.1.4	串行通信中串行 I/O 数据的实现	317
7.5.2	MCS-51 对非编码键盘的接口	266	9.2	MCS-51 的串行接口	320
7.5.3	键盘/显示系统	273	9.2.1	串行口的结构	320
7.6	MCS-51 内部定时器/计数器	274	9.2.2	串行口的工作方式	323
7.6.1	MCS-51 对内部定时器/计数器的控制	274	9.2.3	串行口的通信波特率	325
7.6.2	工作方式	276	9.3	MCS-51 串行口的应用	327
7.6.3	MCS-51 对内部定时器/计数器的初始化	278	9.3.1	串行口在方式 0 下的应用	327
7.6.4	应用举例	279	9.3.2	串行口在其他方式下的应用	329
	习题与思考题	282	9.3.3	串行口在多机通信中的应用	335
第 8 章	MCS-51 对 A/D 和 D/A 的接口	285	9.4	MCS-51 串行口的扩展	341
			9.4.1	8251A 的基本特点	342
			9.4.2	8251A 的内部结构和引脚功能	342

9.4.3 8251A 的控制字	346	12.2.1 硬件电路	418
9.4.4 8251A 的初始化	348	12.2.2 温度控制的算法和程序	421
9.4.5 MCS-51 和 8251A 的接口	348	12.3 系统可靠性设计和故障诊断	432
习题与思考题	351	12.3.1 系统可靠性设计	432
第 10 章 单片机总线及接口	353	12.3.2 故障诊断	433
10.1 概述	353	12.4 单片机开发系统及其应用	434
10.1.1 总线的概念和分类	353	12.4.1 单片机开发系统的构成	435
10.1.2 总线及其接口	354	12.4.2 单片机开发系统的功能	435
10.1.3 总线标准和总线功能	355	12.4.3 通用在线仿真器 MICE-51 及其使用	436
10.2 板级总线	356	12.4.4 单片机开发软件 SK 和 MBUG 简介	451
10.2.1 MULTIBUS 总线	356	习题与思考题	459
10.2.2 STD 总线	362	第 13 章 实验	461
10.3 通信总线	366	13.1 指令系统实验	461
10.3.1 IEEE 488 并行总线	366	实验 1 传送指令练习	461
10.3.2 RS-232-C 串行总线	371	实验 2 算逻指令练习	464
习题与思考题	378	实验 3 其他指令功能练习	467
第 11 章 单片机的其他接口	380	13.2 汇编语言程序设计实验	470
11.1 单片机的驱动和隔离	380	实验 4 分支和循环程序练习	470
11.1.1 板内总线驱动器	380	实验 5 查表和显示程序练习	472
11.1.2 线驱动器	383	实验 6 运算程序练习	475
11.1.3 外围驱动器	385	13.3 接口实验	477
11.1.4 显示驱动器和电平 转换器	388	实验 7 存储器扩充和 P ₁ 口实验	477
11.1.5 电气隔离技术	394	实验 8 8155(一)	479
11.2 单片机的报警接口	396	实验 9 8155(二)	481
11.2.1 单片机的鸣音报警接口	396	实验 10 键盘实验	482
11.2.2 单片机的语音报警接口	397	实验 11 D/A 转换实验	483
11.3 单片机和执行装置的接口	406	实验 12 A/D 转换实验	486
11.3.1 继电器控制接口	406	实验 13 串行口实验	487
11.3.2 步进电机控制接口	406	13.4 综合实验	488
11.3.3 直流电动机控制接口	410	实验 14 电脑时钟	488
习题与思考题	413	实验 15 交通灯控制实验	490
第 12 章 单片机应用系统的开发	415	附录	493
12.1 单片机应用系统的研制步骤	415	附录 I 常用集成电路引脚图	493
12.1.1 总体设计	415	附录 II ASCII 码字符表	496
12.1.2 硬件设计	416	附录 III MCS-51 系列单片机 指令表	497
12.1.3 软件设计	416	参考文献	506
12.1.4 系统的调试、运行和维护	417		
12.2 应用实例——单片机温度控制 系统	418		

第 1 章 微型计算机基础

电子计算机是一种能对信息加工处理的机器,它具有记忆、判断和运算能力,能仿效人类的思维活动,代替人的部分脑力劳动,并能对生产过程实施某种控制,等等。1946年,美国宾夕法尼亚大学制成世界上第一台 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 以来,电子计算机经历了电子管、晶体管和集成电路的三个发展时代,并于 1971 年进入了第四代。第四代电子计算机通常可以分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五类。但以系统结构和基本工作原理来说,微型计算机和其他几类计算机并无本质区别,只是在体积、性能和应用范围方面有所不同。

本章将论述微型计算机的产生、发展和应用,讲授微型计算机的基础知识,介绍微型计算机的组成原理,最后分析单片微型计算机的结构特点和应用,以便为读者在后续章节的学习打下一个基础。

1.1 微型计算机概述

微型计算机是 70 年代初期发展起来的,它的产生、发展和壮大以及对国民经济的巨大冲击引起了人们的高度重视,使人类社会发生了翻天覆地的变化。

1.1.1 微型计算机的概念

随着微型计算机的高速发展,单片微型计算机、单板微型计算机、微型计算机系统、微型计算机开发系统和计算机网络工作站等等新机种不断涌现。为了学习掌握好微型计算机,从概念上弄清微型计算机和这些新机种之间的异同十分重要,读者应予以重视。

1. 微处理器的概念

微处理器(Microprocessor)是高新技术的产物,是集成在同一块芯片上的具有运算和控制功能逻辑的中央处理器,称为 MPU,简称为 MP。微处理器不仅是构成微型计算机、微型计算机系统、微型计算机开发系统和计算机网络工作站的核心部件,而且也是构成多微处理器系统和现代并行结构计算机的基础。例如:日本富士通公司最近宣布,要在 1997 年推出具有 128 个 MPU 的并行处理机,运算速度将高达 5000MIPS。

2. 微型计算机的概念

微型计算机一词是 70 年代初沿革而来的,这和今天人们所说的微型计算机在概念上不完全相同,前者是原始的,是对原来的三代电子计算机而言的;后者有了发展,变成当代社会发展的特征词。我们当然不是正本清源,但弄清这个问题是十分重要的。

按照原始的概念,微型计算机是指由中央处理器 CPU、半导体存储器、I/O 接口和中断系统等集装在同一块或数块印刷电路板上所构成的计算机,它通常包括如下几种类型:

- (1) 单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)

单片微型计算机是一种把微处理器、半导体存储器、I/O(Input/Output)接口和中断系统集成在同一块硅片上的有完整功能的微型计算机,这块芯片就是它的硬件,软件程序就存放在片内只读存储器内。其实,单片机很难和被控对象直接进行电气连接,故在实际应用中单片机总要通过这样和那样的芯片和被控对象相连。

单片微型计算机具有体积小、重量轻、价格低和可靠性好等许多优点,常在家用电器、智能仪器仪表和工业控制领域中应用。

(2) 单板微型计算机(Single Board Microcomputer)

单板微型计算机是一种把微处理器、半导体存储器、I/O 接口和中断电路等芯片集装在同一块印刷电路板上的微型计算机。在这块印制板上,通常还装有简易键盘和发光二极管,只读存储器中还固化有容量不大的监控程序。

单板微型计算机具有单片机类似的优点,常做成专用的过程控制机投放市场。

(3) 多板微型计算机(Multiboard Microcomputer)

顾名思义,多板微型计算机是一种把构成微型计算机的功能部件分别组装在多块印刷电路板(如:存储器扩充板、显示器板)上,并通过同一机箱内的总线插槽连成一体的微型计算机。这种多板结构的微型计算机功能很强,常常可以通过选用不同印刷电路插件板达到在不同场合使用的目的。

3. 微型计算机系统的概念

微型计算机系统是在多板机基础上发展起来的,是一种更高层次上的微型计算机,它通常有齐全的硬件和更为丰富的软件资源。

微型计算机硬件是在前述多板机基础上配以必要的外部设备和电源等组成的,外部设备通常有键盘、磁盘机、磁带机、CRT 显示器和打印机等。软件资源分为系统软件和应用软件两类,最基本的系统软件 BIOS 常常固化在只读存储器内,开机后由引导程序自动引导,其余软件可以通过磁盘机或盒式磁带机随时输入机器,操作人员的命令由键盘输入。

迄今为止,投放市场的微型计算机类型很多,性能差异很大,用户可根据需要加以挑选。例如:IBM-PC/486 DX 就是微型计算机系统中最典型的一种,它价廉物美深受用户的好评。

4. 微型计算机开发系统的概念

微型计算机开发系统是一种有专门用途的微型计算机系统,也有齐全的硬件和丰富的软件资源。它不仅可以用来设计和调试微型计算机样机,而且也可用来为样机开发适销对路的软件。

微型计算机开发系统常常有通用、专用和多功能之分。专用微型计算机开发系统可以专门用来开发采用某种特殊微处理器的微型计算机,并为它设计专用的程序。通用微型计算机开发系统内部常可配置多种型号的微处理器,用于开发采用相应微处理器的微型计算机。多功能微型计算机开发系统内部常装有在线仿真器,通过更换仿真器上的微处理器达到多功能开发各种通用和专用微型计算机样机的目的。

在微型计算机开发系统中,有一类专门可以用来开发新型单片机样机的开发系统,这类开发系统我们称之为单片机开发系统。单片机开发系统也有通用、专用和多功能之分,

这点我们将在本书的第 12 章中详细讨论。

1.1.2 微型计算机的发展

1971 年美国 Intel 公司制成了世界上第一个微处理器芯片 Intel 4004,并用它组装成世界上第一台微型计算机 MCS-4。从此,微型计算机异军突起,受到人们的高度重视,新产品潮水般涌向市场,推动着社会的前进,经济的发展和市场的繁荣。

微处理器是微型计算机的重要构件,是推动微型计算机迅速发展的真正动力。为此,我们先介绍微处理器的分代和发展。

1. 微处理器的分代和发展

我们可以从不同角度对微处理器进行分类:若按机器内部结构来分,微处理器可以分为位片式、单片式和多片式;若按制造工艺来分,微处理器通常分为 MOS 型和双极型。由于微型计算机性能在很大程度上是由它所采用的微处理器类型决定的,因此微处理器通常是按字长为标准来分类的,如表 1-1 所列。

表 1-1 微处理器和微型计算机的分代

特 点 项 目	时 代	第一代 1971—1973 年	第二代 1974—1978 年	第三代 1978—1981 年	第四代 1981—1992 年	第五代 1992 年—
制造工艺 集成技术		PMOS LSI	NMOS LSI	HMOS/NMOS LSI/VLSI	NMOS/CMOS SLSI	NMOS/CMOS SLSI/ULSI
集成度		0.12—0.2 万 晶体管/片	0.5—0.9 万 晶体管/片	2—6.8 万 晶体管/片	10 万以上 晶体管/片	80 万以上 晶体管/片
字长(位)		4/8	8	16	32	64
基本指令 执行时间		10—20 μ s	1—1.3 μ s	<1 μ s	<125ns	<10ns
引脚数(条)		16/24	40	40—68	64—100	
典型微 处理器		Intel 4004 Intel 8008 TMS 1000 PPS-4	Intel 8080 Intel 8085 M6800 M6809 Z80	Intel 8086/8088 Z8000 M68000 LSI-11/23 Intel 80186/ 80286	Intel 80386 Intel 80486 Z80000 HP9000 M68020	Alpha 21064/ 21164 R4000/8000 PA-RISC7100 Pentium-100 Power PC601
典型微型 计算机		MCS-4 MCS-8	CS 系列 H89 TRS-80 APPLE- II	IBM-PC/XT IBM-PC/AT HP98360CT Intel 86/330	IBM-PC/486 IBM-PC/586 LTE Elite 400E Win DX4/ 75	DEC 300/500 Axp IBM RS6000 500 HP9000/765

续表

特点 项目	时代 第一代 1971—1973年	第二代 1974—1978年	第三代 1978—1981年	第四代 1981—1992年	第五代 1992年—
应用领域	1. 家用电器 2. 计算器 3. 简单控制	1. 智能终端 2. 仪器仪表 3. 工业控制 4. 教学 5. 数据处理	1. 实时控制 2. 数据库 3. 事务处理 4. 科学计算 5. 分布式系统 6. 局域网	1. 事务处理 2. 多用户数据处理 3. 科学计算 4. 多微处理器系统 5. 局域网 6. 工作站	1. 图形工作站 2. 大型计算机网中的服务器 3. 信息管理系统 4. 大、中型机的构件

注: LSI (Large Scale Integration) 大规模集成电路; VLSI (Very Large Scale Integration) 甚大规模集成电路; SLSI (Super Large Scale Integration) 超大规模集成电路; ULSI (Ultralager Scale Integration); 特大规模集成电路。

二十多年来,微处理器制造技术发生了巨大变化,其发展速度是惊人的。综合起来,共可分为五个发展时代。

(1) 第一代微处理器(1971—1973年)

这个时期是微处理器发展的初级阶段,其产品均为4位或8位低档机。代表产品有Intel公司的Intel 4004, Rockwell公司的PPS-4, TI公司的TMS1000系列机等。这类微处理器的主要特点是采用PMOS工艺和 $10\mu\text{m}$ 光刻技术,集成度为1200—2000只晶体管/片,基本指令的执行时间为10—20 μs ,引脚数为16/24。4位或8位低档微处理器虽然运算能力差,但价格低廉,主要用在电冰箱、电视机、录音机、游戏机、计算器和仪器仪表等方面。

(2) 第二代微处理器(1974—1978年)

1974—1978年是微处理器发展的第二阶段。这个时代的微处理器为8位中档和高档机,前期生产的为中档机,代表产品有Intel公司的8080, Motorola公司的M6800, Rockwell公司的PPS-8等;后期生产的多为高档机,是一种向16位机过渡的产品,代表产品有Intel公司的8085, Zilog公司的Z80, Motorola公司的M6809等。这些微处理器的集成度高、功能强、指令周期达到了 $1\mu\text{s}$ 。与此同时,各类I/O接口芯片相继问世,1977年还生产出16K位的动态存储器。利用上述器件构成的微型计算机及其系统开始进入实用阶段。例如:Cromemco系统公司开发的CS系列微型计算机和Apple公司的Apple-Ⅱ机都是当时十分流行的机种。

(3) 第三代微处理器(1978—1981年)

1978年,Intel公司研制成了16位微处理器Intel 8086(集成度为2.9万只晶体管/片), Zilog公司研制成Z8000(集成度为1.75万只晶体管/片), Motorola公司也推出了M6800。(集成度为6.8万只晶体管/片)。这些处理器的特点是采用HMOS工艺和 $4\mu\text{m}$ 光刻技术,指令执行时间为0.5 μs ,使微型计算机功能达到了小型计算机水平。

在16位微处理器问世的同时,Intel公司还推出了准16位微处理器Intel 8088。该处理器内部执行16位运算,对外只能以8位数据方式传送,故它能有效地和其他8位机相

容,从而为 IBM 公司开创了 IBM-PC 系列机走红世界的时代。

小型机微型化也是那个时代里发展 16 位微型机的另一条途径,美国 DEC 公司的 LSI-11/23 和 LSI-11/24 就是从小型机 PDP-11/23 和 PDP-11/24 中微型化出来的。

其实,16 位微型计算机是在 1983 年以后才开始成熟起来的,1989 年开始大量生产。特别是 Intel 公司的高档微处理器 Intel 80186 和 Intel 80286 以及 Motorola 公司的 M68010(集成度为 10 万只晶体管/片)相继投放市场以来,16 位微处理器的发展达到了顶峰,也为 32 位微处理器的诞生铺平了道路。

16 位微处理器主要用来构成当时的 16 位微型计算机和微型计算机系统,并在分布式系统和微型计算机网络中立下过汗马功劳。例如:大家熟悉的 IBM-PC/XT 和 IBM-PC/AT 机就是典型的 16 位微型计算机,曾经广泛用作那个时代的科学计算、数据处理以及工业控制中的后台机等。

(4) 第四代微处理器(1981—1992 年)

1980 年 10 月,美国 NS 公司首先制成 32 位微处理器 NS16032,Intel 公司也于 1991 年初推出了 32 位微处理器 iAPX432。此后,美国的 HP 公司、Bell 公司、Motorola 公司和 Zilog 公司都相继推出了各自的 32 位微处理器。

这些早期的 32 位微处理器大致分为两类:一类是准 32 位微处理器,即片内为 32 位和片外为 16 位,iAPX432 和 NS16032 就是属于这类微处理器;另一类是真正的 32 位微处理器,这类微处理器有 HP9000、MAC-32、M68020 和 Z80000 等。这些 32 位微处理器具有更高的集成度,更快的运算速度和更低的成本。例如:HP 公司的 HP9000 集成度高达 45 万只晶体管/片,时钟频率达 18MHz,微周期为 55ns。

80 年代后期,Motorola 公司先后推出高档 32 位微处理器 MC68030 和 MC68040,Intel 公司也相继推出先进的 32 位微处理器 Intel 80486。这些高档 32 位微处理器的显著特点是吸取了大中型计算机的体系结构和采用了先进的超大规模集成电路 SLSI(Super large Scale Integration)技术,多级流水线和虚拟存储管理技术。这些技术的采用,使 32 位微处理器的集成度和运算速度更上一层楼。IBM-PC/80486 和 IBM-PC/80586 就是采用这种高性能 32 位微处理器做成的最典型的个人计算机。

(5) 第五代微处理器(1992 年以后)

1992 年以来,微处理器进入了第五个发展阶段,即 64 位微处理器发展时代。1991 年 11 月,美国 MIPS 公司率先推出 64 位 RISC 型微处理器 R4000。1992 年 1 月,DEC 公司也宣布制成了 64 位微处理器 Alpha 芯片。这些芯片的最主要特点是采用了整数嵌入技术和浮点运算器以及超通道技术,每个机器周期可以执行 2 条指令,因而芯片的集成度和运算速度均大大优于 32 位微处理器。

1994 年以来,64 位微处理器又有了锦上添花的发展。例如:MIPS 公司研制成了 RISC R8000,DEC 公司推出了 Alpha 21164,Silicon Graphics 公司也宣布了 Power Challenge 系列芯片问世等等。这些芯片突出优点是集成度又有了新的突破,例如 Intel 公司的 Pentium-100 集成度高达 510 万只晶体管/片。此外,由于整数和浮点运算部件采用了超级流水线式结构,因此微处理器的运算速度刷新了超级计算的新面貌,从而使它的性能达到了现有巨型机的水平。可以相信,随着特大规模集成电路 ULSI(Ultra Large Scale Inte-

gration)和巨大规模集成电路 GLSI(Great Large Scale Integration)的飞速发展,64 位微处理器技术还会向纵深发展。

2. 微型计算机的发展动向

大家知道,微处理器是微型计算机的核心构件,它在很大程度上决定了微型计算机及其系统的性能指标。因此,微型计算机具有和微处理器相同的分类方法及其发展过程,在此不再赘述。这里我们主要是要讨论微型计算机发展过程中的新问题和新动向。

今后一个时期内,微型计算机的发展前景主要体现在以下三个方面:

(1) 低档微型计算机的发展

这里所说的低档微型计算机主要是指由 4 位、8 位和 16 位微处理器芯片所构成的微型计算机,这类机器主要是广泛应用在家用电器、仪器仪表和过程控制等领域,成为它们不可缺少的组成部分。在这类微型计算机中,单片微型计算机功能强、价格低、精巧灵活,具有无限的生命力,尤其受到人们的欢迎。因此,低档微型计算机一定会经久不衰,今后还会有一些通用和专用的新产品投放市场,满足各方面和各个领域的需求。

(2) 32 位和 64 位微型计算机的发展

32 位微型计算机的发展尚未停息,目前正处在进一步完善和发展阶段,新的产品还在继续涌现,尤其是软件的发展。32 位微型计算机有通用和专用两类:通用 32 位微型计算机常常做成微型计算机系统,如目前广泛流行的 IBM-PC/486、IBM-PC/586 和 Packard Bell 公司的全能个人电脑等,专用 32 位微型计算机常作成工作站和网卡,活跃在信息管理系统和通讯系统中,如 SUN 公司的 SPARCstationLX、HP 公司的 HP9000-715/33 和 IBM 公司的 RS6000 M20 等等。32 位微型计算机的共同特点是运算速度快、主存容量大和有丰富的软件,特别适合于办公自动化、电气或机械 CAD、地理信息系统、科学可视化和统计分析等方面。

64 位微型计算机正方兴未艾,用目前已经上市的 64 位微处理器制成的工作站机有 HP9000-765、IBM RS6000-570 和 DEC 3000 Model 500AXP 等等。64 位微型计算机具有比 32 位机更高的运算速度、更大的主存容量和更强的图形功能,尽管其软件还在发展之中。例如:HP9000-765 工作站机的浮点运算速度为 40.5M FLOPS(DP),主存容量为 768MB,最大磁盘容量为 297.5GB。可以预料,64 位微型计算机及其系统必将进一步蓬勃发展,成为 20 世纪末微型计算机发展的主流和通向 21 世纪的基石。

(3) 多微处理器系统的发展

多微处理器系统是一种有多个微处理器并行运算的系统,其运算速度和工作性能不仅取决于所用微处理器的类型,而且和所用微处理器的数量有关。近年来,多微处理器系统有了长足的进步。例如:Intel 公司采用 30 个 Intel 80386 研制成的 IPSC 机,其性能相当于 IBM 3090 系列中最高档的大型机,价格只有后者的十分之一。

在多微处理器系统的猛烈冲击下,现有大型机市场摇摇欲坠,大型机厂商惶惶不可终日。为了求得生存,大型和巨型机厂商在加紧发展微型计算机的同时,纷纷改变策略,转而使大型和巨型机采用多微处理器系统类似的结构体系——并行结构。例如,目前已经投入运行的超级计算机 NCube2 就包含了 8192 个微处理器,由 65000 个微处理器组成的 NCube 3 型机也在研制之中。

1.1.3 微型计算机的应用

由于微型计算机具有体积小、重量轻、价格低、可靠性高、耗电少和灵活机动等许多优点,因此它的应用范围很广,应用前景十分美好。迄今为止,微型计算机不仅在工业、农业、国防、科学技术和国民经济各个领域发挥了巨大作用,而且在日常生活中也日益显示出它的强大生命力。归纳起来,主要有以下几方面:

1. 科学计算

在许多科技部门和工程设计单位,常常需要进行大量的数值计算,这些数值计算问题用人工方法是无法完成的,通常都要借助于价格昂贵的大、中型甚至巨型计算机才能完成。例如:18世纪英国数学家商克斯花了20年时间才把圆周率计算到小数点后707位,但在今天的大型机上仅用了6.8小时就使它超过了800万位小数。

今天,微型计算机的性能已经达到大、中型计算机的水平,并正在向巨型机方向迈进,而造价却比它们低得多。因此,采用微型计算机进行科学计算是最理想的选择。

2. 数据处理和信息管理

数据处理通常是指计算机对实时采集的和人工送入的大量数据进行加工处理、转换分析、反馈控制、显示打印和发送远传的过程。这在航空、航天、邮电通信、军事科学和工业控制中的应用十分广泛,如地面卫星接收系统、防空警戒雷达系统、导弹和反导航控制系统以及工矿实时控制系统,等等。

信息管理是指计算机对人工输入信息和历史信息进行分类检索、查找统计、绘制图表和输出打印的过程。信息管理在信息管理系统中进行。信息管理系统可以是单个的高档微型计算机,也可以是一种不同类型的计算机网络系统,如飞机订票系统、情报检索系统、气象预报、办公自动化、电子邮件系统和银行信贷系统等等。据报道,21世纪的信息管理系统将包括形象信息系统、创新支持系统、能力库、思想工程和三利系统这样一类新概念和新系统。

3. CAD、CAM、CAA 和 CAI 中的应用

CAD(Computer-Aided Design)的中文含义是计算机辅助设计,是指工程设计人员借助于计算机进行新产品开发和设计的过程。CAM(Computer-Aided Manufacturing)为计算机辅助制造,是指计算机自动对所设计好的零件进行加工的过程。CAA(Computer-Aided Assemble)为计算机辅助装配,是指计算机自动把零件装配成部件或把部件装配成整机的过程。CAI(Computer-Aided Instruction)为计算机辅助教学,是指教师借助于计算机对学生进行形象化教学或学生借助于计算机进行形象化学习的过程。CAD、CAM、CAA 和 CAI 都要求有一台高性能的微型计算机或工程工作站机,其运算速度要快、存储容量要大,并要有相应软件作支持。目前,我国的CAD使用较为普遍,尤其在建筑、造船、机械制造和飞机制造行业中使用更为广泛。

4. 过程控制和仪器仪表智能化

微型计算机对生产过程的控制是借助于传感器、A/D 和 D/A 转换器以及执行机构进行的。在闭环型过程控制中,过程的实时参数由传感器和 A/D 转换器实时采集,并由微型计算机自动记录、统计制表和监视报警,然后再通过 D/A 转换器和执行机构进行调节

和控制。微型计算机用于过程控制的情况很普遍,例如高炉炉温的自动控制,化工厂液体流量的自动调节,电力系统自动装置的继电保护和自动化生产线的控制等等。在这类应用中,微型计算机是过程控制的核心部件,也是实现工厂自动化 FA(Factory Automation) 的基础。

所谓仪器仪表智能化,实际上是要把微处理器、存储器和其他集成电路芯片作为元器件安装在仪器仪表中,使仪器仪表按照人的意愿工作。仪器仪表智能化不仅可以使它们体积小、重量轻和精度高,而且可使仪器仪表的功能齐全,应用前景十分诱人。例如:计算机网络中的智能终端、电子工业中用的逻辑分析仪、医用 CT 扫描仪和医用红外热像仪,等等,都是深受用户欢迎的智能化仪器设备。

5. 军事领域中的应用

微型计算机在军事领域中的应用虽然鲜为人知,但应用是十分广泛的,而且是越来越广泛。在军事上,微型计算机通常可用来帮助指挥和协调作战、进行军事通讯、搜集情报、信息管理,也可以直接用在坦克、火炮、军舰、潜艇、军用飞机、巡航导弹等武器中。

微型计算机在现代军事中具有重要作用,美国国防部每年都要拨出巨款(1992 年为 395 亿美元)用于军用计算机的研究和开发。在 1991 年的海湾战争中,以美国为首的多国部队通过军用机器人爆破、排雷获得成功,加固计算机也证明了它的作用和价值。目前,美军正在加紧部署 C³ 战略——全球坐标网(Global Grid)。全球坐标网使战士和传感器、数据库及指挥中心联系起来,每个行动中的士兵只要携带一个大约 1 磅重的“士兵计算机系统”就可在士兵与士兵、士兵与指挥部之间进行声音、图象和数据的传送。该“士兵计算机系统”功能齐全,作用超凡,1994 年已生产出样机。美国国防部另一最宏伟的目标是要建立一支机器人舰队,该计划打算分三个实施阶段,但最终是要实现无人指挥的全自动舰艇,舰上机器人指挥官可根据情况制订作战计划并指挥战斗。

6. 多媒体系统和信息高速公路

多媒体系统是一种集声音、动画、文字和图象等多种媒体于同一载体或平台的系统,以实现和外部世界进行多功能和多用途的信息交流。若把多媒体化的 PC 机挂接到 Novell 网络上,用户便能得到有声有色和图文并茂的屏幕服务。多媒体技术广泛用于工业生产、教育培训、医疗卫生、商业广告和娱乐生活等方面。

一年多来,“信息高速公路”的狂潮滚滚而来,美国、日本、西欧以及发展中国家和地区都在争先恐后地计划、组织和实施“信息高速公路”的建设。“信息高速公路”是一种能够将人、家庭、学校、机关、团体、商店、医院和图书馆联成一体庞大的计算机系统,是一种集计算机技术、无线电技术、声音处理技术、文件传输和可视通信技术于一体的高新技术系统。目前美国和西欧所建成的“信息高速公路”还只是个雏型,或者说是在小范围内的“信息高速公路”。“信息高速公路”的本领很大:它可以使人们通过电信网坐在家里的电脑终端旁进行高效工作,以节省办公用房、缓解交通拥挤和减少城市污染;它可以给人们提供先进的社会服务和消灭城市 and 乡村之间实际存在的教育质量的差别;它还可以帮助人们把城市的高质量的医疗服务送到偏远的山区等等。总之,“信息高速公路”的建设和发展不仅会带来巨大的经济效益,而且将像 19 世纪的铁路和 20 世纪电子网络一样,给人类社会带来巨大的冲击和变革。

7. 家用电器和家庭自动化

微处理器在家用电器中应用很普遍,最常见的有微电脑洗衣机、微电脑冰箱、微电脑空调、微电脑音响系统和微电脑电视机等等。此外,个人微型计算机、微电脑计时装置和微电脑报警系统等已经进入发达国家的家庭。微电脑盲人阅读机也为盲人提供了极大的方便。

微型计算机进入家庭的另一标志是全功能个人计算机的问世,该产品集收音、电视、电话答录和传真功能于一体,由帕卡德贝尔(Packard Bell)公司采用 Intel 80486 奔腾(Pentium)芯片制成。此外,美国和西欧已有 60 万雇员通过信息高速公路在家中办公,1997 年在家办公的雇员将猛增到 530 万人。这些都充分表明,一个以家用机器人为核心的家庭自动化 HA(Home Automation)时代已为时不远了。

1.2 微型计算机数制及其转换

迄今为止,所有计算机都是以二进制形式进行算术运算和逻辑操作的,微型计算机也不例外。因此,用户在键盘上输入的十进制数字和符号命令,微型计算机都必须先把它们转换成二进制形式进行识别、运算和处理,然后再把运算结果还原成十进制数字和符号在 CRT 上显示出来。

虽然上述过程十分繁琐,但都是由微型计算机自动完成的。为了使读者最终弄清机器的这一工作机理,我们先对微型计算机中常用的数制和数制间的转换进行讨论。

1.2.1 微型计算机的数制

所谓数制是指数的制式,是人们利用符号计数的一种科学方法。数制是人类在长期的生存斗争和社会实践中逐步形成的。数制有很多种,微型计算机中常用的数制有十进制、二进制和十六进制三种。

1. 十进制(Decimal)

十进制是大家很熟悉的进位计数制,它共有 0、1、2、3、4、5、6、7、8 和 9 十个数字符号。这十个数字符号又称为数码,每个数码在数中最多可有两个值的概念。例如:十进制数 45 中数码 4,其本身的值为 4,但它实际代表的值为 40。在数学上,数制中数码的个数定义为基数,故十进制的基数为 10。

十进制是一种科学的计数方法,它所能表示的数的范围很大,可以从无限小到无限大。十进制数通常具有如下两个主要特点:

(1) 它有 0—9 十个不同的数码,这是构成所有十进制数的基本符号。

(2) 它是逢十进位的。十进制数在计数过程中,当它的某位计满 10 时就要向它邻近高位进一。

因此,任何一个十进制数不仅和构成它的每个数码本身的值有关,而且还和这些数码在数中的位置有关。这就是说,任何一个十进制数都可以展开成幂级数形式。例如:

$$123.45 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

式中:指数 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 和 10^{-2} 在数学上称为权,10 为它的基数;整数部分中每位的