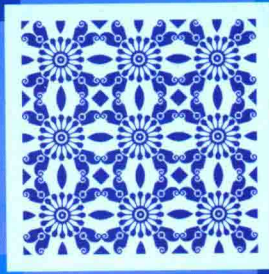


A COURSE IN 16/32-BIT MICROCOMPUTER  
PRINCIPLE, ASSEMBLY LANGUAGE, AND INTERFACING,  
REVISED EDITION

# 16/32位微机原理、 汇编语言及接口技术教程

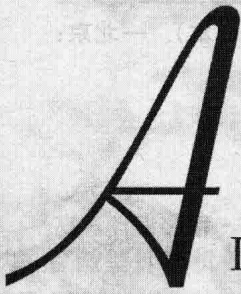
修订版

钱晓捷 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

高等院校计算机教材系列



COURSE  
PRINCIPLES  
REVISED EDITION

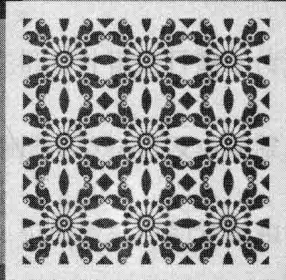


MICROCOMPUTER  
PRINCIPLES, AND INTERFACING,

# 16/32位微机原理、 汇编语言及接口技术教程

修订版

钱晓捷 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

16/32 位微机原理、汇编语言及接口技术教程 / 钱晓捷编著. —2 版 (修订本). —北京: 机械工业出版社, 2017.8  
(高等院校计算机教材系列)

ISBN 978-7-111-57645-7

I. 1 … II. 钱 … III. ① 微型计算机 - 高等学校 - 教材 ② 汇编语言 - 程序设计 - 高等学校 - 教材 ③ 微型计算机 - 接口 - 高等学校 - 教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 179859 号

本书以 Intel 8088/8086 微处理器和 IBM PC 系列机为主体, 论述 16 位微型计算机的基本原理、汇编语言和接口技术, 并引出 32 位微机系统相关技术。本书主要涵盖微型机的基本系统、微处理器内部结构、指令系统和汇编语言程序设计、微处理器外部特性、存储器系统、输入输出及接口、总线及总线接口、若干典型的接口芯片以及与它们相关联的控制接口技术 (包括中断控制、定时计数控制、DMA 控制、并行接口、串行通信接口以及模拟接口), 最后介绍 32 位 Intel 80x86 微处理器和 32 位微机的新技术。附录提供调试程序 DEBUG 的使用方法、汇编语言的开发方法等。

本书可作为高等院校微机原理与接口技术或汇编语言程序设计等相关课程的教材或参考用书, 适合计算机、电子工程和自动控制等相关学科的本专科学生、高职学生及成教学生阅读, 也是计算机应用开发人员和希望深入学习微机应用技术的读者的极佳参考。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 迟振春

责任校对: 李秋荣

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2017 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 21.75

书号: ISBN 978-7-111-57645-7

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

# 前 言

尽管微型计算机系统日新月异，但基于16位软硬件平台进行通用微型计算机技术的教学仍然适用和可行。尤其是相对简单和成熟的教学内容，更易于学生学习和掌握。所以，本书的主体结构定位于：硬件是8088/8086微处理器、IBM PC系列机，软件是DOS模拟环境、8088/8086指令系统和MASM汇编语言。同时面向发展，以突出基本原理和应用技术为原则对16位微机原理进行删繁就简，最后对应补充32位新技术的内容。这样，在学生掌握16位教学内容的基础上引入32位教学内容，也可以引导学生进行课外阅读。

本书主要内容如下：

第1章微型计算机系统概述：简介微处理器发展，以IBM PC系列机为实例介绍微型计算机系统的组成，最后总结性地说明计算机内部的数据表示。

第2章微处理器指令系统：详述8088/8086微处理器内部结构、寻址方式以及主要指令，包括常用DOS和ROM-BIOS的功能调用方法。

第3章汇编语言程序设计：采用简化段定义格式引出基本的汇编语言伪指令，以程序结构为主线展开汇编语言的程序设计方法。

第4章微机总线：以总线技术引领，重点描述8088微处理器的外部引脚和总线时序，简介IBM PC和ISA总线。

第5章主存储器：选择典型的半导体存储器芯片介绍其引脚和读写时序，说明构成主存的连接方法。

第6章输入输出接口：在理解I/O接口和指令的基础上，讨论主机与外设进行数据传送的方法。

第7章中断控制接口：介绍8088微处理器的中断机制和中断控制器8259A以及中断服务程序的编写。

第8章定时计数控制接口：以定时计数控制器8253/8254为例，引出微机中的定时和计数方法。

第9章DMA控制接口：以DMA控制器8237A为例，说明DMA控制器及DMA传送的应用。

第10章并行接口：介绍并行接口芯片8255A及其应用，详述键盘、数码管和打印机接口。

第11章串行通信接口：重点论述串行异步通信的协议和总线、8250/16550接口芯片、编程和电路。

第12章模拟接口：描述D/A和A/D转换原理以及典型的模拟接口芯片的应用。

第13章32位微型计算机系统：对应前5章内容从16位延伸为32位技术，用通俗的语言简介提高处理器性能的新技术。

附录A调试程序DEBUG的使用方法：配合第2章学习调试指令、程序片段的具体方法。

附录B汇编语言的开发方法：配合第3章及以后章节的编程实践。

附录C 8088/8086指令系统：罗列全部指令，以备速查。

附录D常用DOS功能调用（INT 21H）：罗列部分常用功能，方便使用。

附录E常用ROM-BIOS功能调用：罗列部分常用功能，方便使用。

附录F输入输出子程序库：罗列自编的输入输出子程序，方便调用。

本书包括微机原理、汇编语言及接口技术3部分内容，可以有3种教学方案，以适应不同学校或专业的各种教学计划。

教学方案一：完整讲授本书各章主要内容（最后一章可以作为选修内容），适用于软硬件兼顾、学生水平较高的情况，可称之为“汇编语言与接口技术”课程。

教学方案二：以微机原理为基础，展开汇编语言进行讲授，适用于侧重软件、单独开设接口技术课程的情况，可称之为“微机原理与汇编语言”课程。

教学方案三：以接口技术为主体讲授，适用于已学习过汇编语言和侧重硬件的情况，可称之为“微机原理及接口技术”课程。

作为普通本科教材，建议68学时（每周4学时、实际教学17周）的课堂教学，并配合6~10个软件上机或者硬件实验任务（每个任务2学时）的实践环节。

3种方案的各章学时数可参考下表（第13章作为课外阅读未列出学时）。

章号	汇编语言与接口技术	微机原理与汇编语言	微机原理及接口技术
1	4	4	4
2	8	12	2
3	10	16	2
4	4	4	6
5	6	4	6
6	6	6	8
7	6	6	8
8	4	4	4
9	4	2	4
10	8	6	10
11	4	2	6
12	4	2	8

相对于第1版，本版教材保持结构不变，部分内容进行修订，主要是汇编语言部分增加了图形，进行了更加详细的说明，并修改了部分段落的文字叙述。

本书由钱晓捷编著，欢迎广大师生通过电子邮箱（qianxiaojie@zzu.edu.cn）与作者交流，感谢多年来同事们的合作，感谢华章公司的支持。

编者

2017年6月

# 目 录

前言	
第1章 微型计算机系统概述	1
1.1 微型计算机的发展	1
1.1.1 通用微处理器	1
1.1.2 专用微处理器	2
1.1.3 摩尔定律	3
1.2 微型计算机的系统组成	3
1.2.1 冯·诺伊曼计算机结构	4
1.2.2 微型计算机的硬件组成	6
1.2.3 IBM PC系列机结构	7
1.2.4 微型计算机的软件系统	9
1.3 计算机中的数据表示	11
1.3.1 数值的编码	11
1.3.2 字符的编码	12
习题	14
第2章 微处理器指令系统	16
2.1 微处理器的内部结构	16
2.1.1 微处理器的基本结构	16
2.1.2 8088/8086的功能结构	17
2.1.3 8088/8086的寄存器结构	19
2.1.4 8088/8086的存储器结构	21
2.2 8088/8086的数据寻址方式	24
2.2.1 立即数寻址方式	25
2.2.2 寄存器寻址方式	26
2.2.3 存储器寻址方式	26
2.3 数据传送类指令	29
2.3.1 通用数据传送指令	29
2.3.2 堆栈操作指令	31
2.3.3 标志操作指令	32
2.3.4 地址传送指令	33
2.4 算术运算类指令	33
2.4.1 加法和减法指令	33
2.4.2 符号扩展指令	35
2.4.3 乘法和除法指令	35
2.4.4 十进制调整指令	37
2.5 位操作类指令	37
2.5.1 逻辑运算指令	37
2.5.2 移位指令	38
2.5.3 循环移位指令	39
2.6 控制转移类指令	40
2.6.1 无条件转移指令	41
2.6.2 条件转移指令	42
2.6.3 循环指令	45
2.6.4 子程序指令	45
2.6.5 中断指令和系统功能调用	47
2.7 处理器控制类指令	50
习题	50
第3章 汇编语言程序设计	54
3.1 汇编语言的源程序格式	54
3.1.1 语句格式	54
3.1.2 源程序框架	56
3.2 常量、变量和属性	59
3.2.1 常量	59
3.2.2 变量	61
3.2.3 名字和标号的属性	62
3.3 顺序程序设计	64
3.4 分支程序设计	65
3.5 循环程序设计	68
3.5.1 计数控制循环	69
3.5.2 条件控制循环	70
3.5.3 串操作类指令	71
3.6 子程序设计	74

3.6.1 过程定义和子程序编写 .....	75	5.4.2 存储容量的扩充 .....	135
3.6.2 用寄存器传递参数 .....	77	习题 .....	138
3.6.3 用共享变量传递参数 .....	80	第6章 输入输出接口 .....	140
3.6.4 用堆栈传递参数 .....	82	6.1 I/O接口概述 .....	140
3.6.5 子程序模块 .....	84	6.1.1 I/O接口的典型结构 .....	140
3.6.6 子程序库 .....	85	6.1.2 I/O端口的编址 .....	142
3.7 宏汇编 .....	86	6.1.3 输入输出指令 .....	143
习题 .....	90	6.1.4 外设与主机的数据传送方式 .....	146
第4章 微机总线 .....	94	6.2 无条件传送 .....	146
4.1 总线技术 .....	94	6.3 查询传送 .....	149
4.1.1 总线类型 .....	94	6.4 中断传送 .....	152
4.1.2 总线的数据传输 .....	95	6.4.1 中断传送的工作过程 .....	153
4.2 8088的引脚信号 .....	98	6.4.2 中断优先权管理 .....	155
4.2.1 8088的两种组态模式 .....	99	6.5 DMA传送 .....	156
4.2.2 地址/数据信号 .....	100	习题 .....	158
4.2.3 读写控制信号 .....	101	第7章 中断控制接口 .....	159
4.2.4 其他控制信号 .....	102	7.1 8088中断系统 .....	159
4.3 8088的总线时序 .....	103	7.1.1 8088的中断类型 .....	159
4.3.1 写总线周期 .....	103	7.1.2 8088的中断响应过程 .....	161
4.3.2 读总线周期 .....	105	7.1.3 8088的中断向量表 .....	162
4.4 8086和80286的引脚 .....	106	7.2 内部中断服务程序 .....	163
4.5 微机系统总线 .....	107	7.3 8259A中断控制器 .....	164
4.5.1 IBM PC总线 .....	107	7.3.1 8259A的内部结构和引脚 .....	164
4.5.2 ISA总线 .....	111	7.3.2 8259A的中断过程 .....	166
习题 .....	112	7.3.3 8259A的工作方式 .....	167
第5章 主存储器 .....	113	7.3.4 8259A的编程 .....	169
5.1 半导体存储器 .....	113	7.4 8259A在IBM PC系列机上的应用 .....	174
5.1.1 半导体存储器的分类 .....	113	7.5 外部中断服务程序 .....	175
5.1.2 半导体存储器芯片的结构 .....	115	7.6 驻留中断服务程序 .....	178
5.1.3 半导体存储器的主要技术指标 .....	116	习题 .....	180
5.2 随机存取存储器 .....	117	第8章 定时计数控制接口 .....	182
5.2.1 SRAM .....	117	8.1 8253/8254定时计数器 .....	182
5.2.2 DRAM .....	119	8.1.1 8253/8254的内部结构和引脚 .....	182
5.3 只读存储器 .....	122	8.1.2 8253/8254的工作方式 .....	184
5.3.1 EPROM .....	122	8.1.3 8253/8254的编程 .....	187
5.3.2 EEPROM .....	125	8.2 8253/8254在IBM PC系列机上的应用 .....	189
5.3.3 Flash Memory .....	127	8.2.1 定时中断和定时刷新 .....	189
5.4 半导体存储器的连接 .....	131	8.2.2 扬声器控制 .....	190
5.4.1 存储器芯片的地址译码 .....	131	8.2.3 可编程硬件延时 .....	191

8.3 扩充定时计数器的应用 .....	193	11.3.1 8250的内部结构 .....	246
习题 .....	194	11.3.2 8250的引脚 .....	247
第9章 DMA控制接口 .....	196	11.3.3 8250的寄存器 .....	249
9.1 DMA控制器8237A .....	196	11.4 异步通信适配器 .....	251
9.1.1 8237A的内部结构和引脚 .....	196	11.4.1 异步通信适配器的接口电路 .....	252
9.1.2 8237A的工作时序 .....	198	11.4.2 异步通信适配器的初始化编程 .....	253
9.1.3 8237A的工作方式 .....	199	11.4.3 异步通信程序 .....	254
9.1.4 8237A的寄存器 .....	201	11.4.4 16550的FIFO模式 .....	255
9.1.5 8237A的编程 .....	204	习题 .....	256
9.2 8237A的应用 .....	205	第12章 模拟接口 .....	258
9.2.1 8237A在IBM PC系列机上的应用 .....	205	12.1 模拟输入输出系统 .....	258
9.2.2 DMA写传送 .....	206	12.2 D/A转换器 .....	259
9.2.3 DMA设定子程序 .....	207	12.2.1 D/A转换的基本原理 .....	259
习题 .....	208	12.2.2 DAC0832芯片 .....	260
第10章 并行接口 .....	210	12.2.3 DAC芯片与主机的连接 .....	263
10.1 并行接口电路8255A .....	210	12.2.4 DAC芯片的应用 .....	264
10.1.1 8255A的内部结构和引脚 .....	210	12.3 A/D转换器 .....	265
10.1.2 8255A的工作方式 .....	211	12.3.1 A/D转换的基本原理 .....	265
10.1.3 8255A的编程 .....	215	12.3.2 ADC0809芯片 .....	267
10.2 8255A的应用 .....	217	12.3.3 ADC芯片与主机的连接 .....	268
10.2.1 8255A在IBM PC/XT机上的应用 .....	217	12.3.4 ADC芯片的应用 .....	269
10.2.2 用8255A方式0与打印机接口 .....	217	习题 .....	271
10.2.3 用8255A方式1与打印机接口 .....	218	第13章 32位微型计算机系统 .....	272
10.2.4 双机并行通信接口 .....	220	13.1 32位微机组成结构 .....	272
10.3 键盘及其接口 .....	221	13.1.1 Intel 80x86系列微处理器 .....	272
10.3.1 简易键盘的工作原理 .....	221	13.1.2 32位微机主板 .....	277
10.3.2 PC键盘的工作原理 .....	225	13.2 32位指令系统 .....	279
10.4 LED数码管及其接口 .....	229	13.2.1 IA-32指令集结构 .....	279
10.5 并行打印机接口 .....	233	13.2.2 32位整数指令 .....	282
10.5.1 打印机接口信号 .....	233	13.2.3 浮点数据格式及指令 .....	283
10.5.2 打印机适配器 .....	234	13.2.4 多媒体数据格式及指令 .....	285
10.5.3 打印机驱动程序 .....	236	13.3 32位汇编语言 .....	287
习题 .....	239	13.3.1 DOS平台 .....	287
第11章 串行通信接口 .....	241	13.3.2 Windows平台 .....	288
11.1 串行通信基础 .....	241	13.4 32位微机总线 .....	291
11.2 串行接口标准EIA-232D .....	243	13.4.1 Pentium引脚 .....	291
11.2.1 EIA-232D的引脚定义 .....	243	13.4.2 PC总线的发展 .....	294
11.2.2 EIA-232D的连接 .....	244	13.4.3 PCI总线 .....	295
11.2.3 EIA-232D的电气特性 .....	245	13.4.4 USB总线 .....	297
11.3 通用异步接收发送器8250/16550 .....	245	13.5 存储系统 .....	301



13.5.1 存储系统的层次结构 .....	301	附录A 调试程序DEBUG的使用方法 .....	317
13.5.2 高速缓冲存储器 .....	302	附录B 汇编语言的开发方法 .....	325
13.5.3 虚拟存储管理 .....	305	附录C 8088/8086指令系统 .....	329
13.6 处理器性能提高技术 .....	306	附录D 常用DOS功能调用 (INT 21H) ...	332
13.6.1 精简指令集计算机技术 .....	306	附录E 常用ROM-BIOS功能调用 .....	335
13.6.2 指令级并行技术 .....	309	附录F 输入输出子程序库 .....	338
13.6.3 线程级并行技术 .....	312	参考文献 .....	340
习题 .....	315		

# 第1章 微型计算机系统概述

数字电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路为主要部件的时代。随着大规模集成电路的应用，计算机的功能越来越强大，体积却越来越微小，微型计算机（简称微型机或微机）应运而生，并获得广泛应用。本章简介微处理器和微型计算机的发展，以IBM PC系列机为实例介绍微型计算机系统的组成，最后总结性地说明计算机内部的数据表示。

## 1.1 微型计算机的发展

在巨型机、大型机、小型机和微型机等各类计算机中，微型机（Microcomputer）是性能适中、价格低廉、体积较小的一类。在科学计算、信息管理、自动控制、人工智能等应用领域，微型机也是最常见的一类。工作、学习和娱乐中使用的桌面个人微机是我们最熟悉也是最典型的微型机系统；支撑网络的文件服务器、WWW服务器等各类服务器属于高档微型机系统；生产、生活中运用的各种智能化电子设备从计算机系统的角度看同样也是微型机系统，只不过作为其控制核心的处理器常被封装在电子设备内部，不易被人觉察，因此常称它们为嵌入式计算机系统。桌面系统、服务器和嵌入式计算构成现代计算机的三大主要应用形式，而微型机都是其中的主角。

计算机的运算和控制核心称为处理器（Processor），即中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）。微型机中的处理器常采用一块大规模集成电路芯片，称之为微处理器（Microprocessor），它决定着整个微型机系统的性能。通常将采用微处理器为核心构造的计算机称为微型计算机。

处理器的性能经常用字长、时钟频率、集成度等基本技术参数来衡量。字长（Word Length）表示处理器每个时间单位可以处理的二进制数据位数，如一次进行运算、传输的位数。时钟频率表示处理器的处理速度，反映了处理器的基本时间单位。集成度表明处理器的生产工艺水平，通常用芯片上集成的晶体管数量来表达。晶体管只是一个由电子信号控制的电子开关，集成电路在一个芯片上组合了成千上万晶体管以完成特定功能。

### 1.1.1 通用微处理器

1971年，美国Intel（英特尔）公司为日本制造商设计可编程计算器时，将采用多个专用芯片的方案修改成一个通用处理器，于是诞生了世界上第一个微处理器Intel 4004。Intel 4004微处理器字长为4位，集成了约2300个晶体管，时钟频率为108kHz（赫兹）。以它为核心组成的MCS-4计算机也就是世界上第一台微型计算机。随后，Intel 4004被改进为Intel 4040。

1972年，Intel公司研制出8位字长的微处理器芯片8008，其时钟频率为500kHz，集成了约3500个晶体管。这之后的几年当中，微处理器开始走向成熟，出现了以Motorola公司M6800、Zilog公司Z80和Intel公司8080/8085为代表的中、高档8位微处理器。Apple公司的苹果机就是这一时期著名的个人微型机。

1978年开始，各公司相继推出一批16位字长的微处理器，如Intel公司的8086和8088、

Motorola公司的M68000、Zilog公司的Z8000等。其中，Intel 8086的时钟频率为5MHz，集成度达到2.9万个晶体管。这一时期的著名微机产品是IBM公司采用Intel公司的微处理器和Microsoft（微软）的操作系统开发的16位个人计算机（Personal Computer，PC）。

1985年，Intel公司借助IBM PC的巨大成功，进一步推出了32位微处理器80386，其集成度达到27.5万个晶体管，时钟频率达16MHz。从这时起，微处理器步入快速发展阶段。就Intel公司来说，该公司陆续研制生产了80486、Pentium（奔腾）、Pentium Pro（高能奔腾）、MMX Pentium（多能奔腾）、Pentium II、Pentium III和Pentium 4等微处理器，被称为80x86系列微处理器，统称为IA-32微处理器。例如，2003年Intel公司生产的新一代Pentium 4处理器具有1.25亿个晶体管，时钟频率达到3.4GHz。兼容IBM PC的32位PC，还有Apple公司的Macintosh机等，也在这个时期得到飞速发展，并伴随着多媒体技术和互联网络的发展，成为我们工作和生活不可缺少的一部分。

2000年，Intel公司在微型机的高端产品服务器中使用了64位字长的新一代微处理器Itanium（安腾），称为IA-64结构。事实上，其他公司的64位微处理器在20世纪90年代已经出现，但也是主要应用于服务器产品中，不能与通用80x86微处理器兼容。2003年4月，AMD公司推出首款兼容32位80x86结构的64位微处理器，被称为x86-64结构。2004年3月，Intel公司也发布了首款扩展64位能力的32位微处理器，它采用扩展64位主存技术EM64T（Extended Memory 64 Technology），后被称为Intel 64结构。64位微处理器主要将整数运算和主存寻址能力扩大到64位。64位通用微型机的软硬件逐渐普及，进一步提高了微型机的处理能力。与此同时，生产厂商开始在一个半导体芯片上制作多个微处理器核心电路，原来面向高端的并行处理器技术开始走向桌面系统，通用微型计算机系统也进入了一个全新的多核时代。

### 1.1.2 专用微处理器

除了装在PC、笔记本电脑、工作站、服务器上的通用微处理器（常简称为MPU）外，还有其他应用领域的专用微处理器：单片机（微控制器）和数字信号处理器。

单片机（Single Chip Microcomputer）是指通常用于控制领域的微处理器芯片，其内部除CPU外还集成了计算机的其他一些主要部件，例如，ROM和RAM、定时器、并行接口、串行接口，有的芯片还集成了A/D、D/A转换电路等。换句话说，一个芯片几乎就是一个计算机，只要配上少量的外部电路和设备，就可以构成具体的应用系统。

单片机是国内习惯的名称，国际上多称为微控制器（Micro Controller）或嵌入式控制器（Embedded Controller），简称为MCU。微控制器的初期阶段（1976~1978年）以Intel公司的8位MCS-48系列为代表。1978年以后，微控制器进入普及阶段，以8位为主，最著名的是Intel公司的8位MCS-51系列，还有Atmel（爱特梅尔）公司的8位AVR系列、Microchip Technology公司的PIC系列。1982年以后，出现了高性能的16位、32位微控制器，例如，Intel公司的MCS-96/98系列，尤其是基于ARM（Advanced RISC Machine）核心的微处理器。ARM核心采用精简指令集RISC结构，具有耗电少、成本低、性能高的特点，因此使用ARM核心研制的各种微处理器已经广泛应用于32位嵌入式系统，目前主要采用Cortex-M3微控制器。而面向高性能应用领域的ARM核心则是Cortex-A系列，主要应用于移动通信领域，例如智能手机和平板电脑。目前，高端专用微处理器也实现了64位处理，并支持多核技术。

数字信号处理器（Digital Signal Processor），简称DSP芯片，实际上也是一种微控制器

(单片机), 但更专注于数字信号的高速处理, 其内部集成有高速乘法器, 能够进行快速乘法和加法运算。DSP芯片自1979年Intel公司开发2920以后也经历了多代发展, 其中美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司的TMS320各代产品具有代表性, 例如, 1982年的TMS32010、1985年的TMS320C20、1987年的TMS320C30、1991年的TMS320C40, 还有TMS320C2000、TMS320C5000、TMS320C6000系列等。DSP芯片市场主要分布在通信、消费类电子产品和计算机领域。我国推广和应用较多的是TI公司、AD公司和Motorola公司的DSP芯片。

利用微控制器、数字信号处理器或通用微处理器, 结合具体应用就可以构成一个控制系统, 例如, 当前的主要应用形式是嵌入式系统。嵌入式系统融合了计算机软硬件技术、通信技术和半导体微电子技术, 把计算机直接嵌入应用系统之中, 构造信息技术(Information Technology, IT)的最终产品。

自从20世纪70年代微处理器产生以来, 它就一直沿着通用CPU、微控制器和DSP芯片三个方向发展。这三类微处理器的基本工作原理一样, 但各有特点, 技术上它们不断地相互借鉴和交融, 应用上却大不相同。本书以通用微处理器Intel 80x86和由其构成的PC微机为蓝本展开教学, 但基本原理也适用于其他微处理器应用系统, 可以认为是其他微处理器的基础。学习微控制器和DSP芯片构成的专用应用系统需要另外的课程和教材。

### 1.1.3 摩尔定律

从利用算盘实现机械式计算到电子计算机出现, 这期间经历了千年。但从1946年第一台通用电子数字计算机ENIAC(Electronics Numerical Integrator and Calculator)开始到现在计算机广泛应用的信息时代, 却只有短短的几十年时间。大规模集成电路生产技术的不断提高推动了计算机的飞速发展。摩尔定律(Moore's Law)很好地说明了这个现象。

1965年, Intel公司的创始人之一摩尔(G. Moore)预言: 集成电路上的晶体管密度每年将翻倍。现在, 这个预言通常被表达为: 每隔18个月硅片密度(晶体管容量)将翻倍。也常被表达为: 每18个月, 集成电路的性能将提高一倍, 而其价格将降低一半。这个预言就是所谓的摩尔定律。摩尔预计这个规律将持续10年, 而事实上这个规律已经持续了40年, 并将继续维持5年或10年。

伴随着摩尔定律, 我们看到原来封闭在机房的庞大计算机系统已经走入普通家庭, 成为日常使用的桌面微机。事实上, 以微处理器为基础的计算机在整个计算机设计领域占据了统治地位。工作站和PC成为计算机工业的主要产品, 使用微处理器的服务器取代了传统的小型机, 大型机则几乎由流行的微处理器组成的多处理器系统取代, 甚至高端的巨型机也采用微处理器。更不用说无处不在的嵌入式计算机正改变着我们应用计算机的方式。也正因为如此, 现在常用处理器或者CPU表示“微处理器”。

但是, 摩尔定律不会永远持续, 电子器件的物理极限在悄然逼近。20世纪80年代中期以前, 微处理器的性能提高主要是工艺技术驱动。此后, 微处理器的性能提高更多得益于计算机系统结构的革新。从通用寄存器结构、精简指令集计算机RISC、高速缓冲存储器Cache、虚拟存储器管理, 到指令级并行、线程级并行、单芯片多核心等并行技术, 先进的系统结构已经成为提高微处理器性能的主要推动力(详见第13章)。

## 1.2 微型计算机的系统组成

微型计算机系统包括硬件和软件两大部分。硬件(Hardware)是指构成计算机的实在的物

理设备，是看得见、摸得着的物体，就像人的躯体。软件（Software）一般是指在计算机上运行的程序（广义的软件还包括由计算机管理的数据和有关的文档资料），是指示计算机工作的命令，就像人的思想。微型计算机主要是指微型计算机的硬件系统，当然其核心是微处理器。

### 1.2.1 冯·诺伊曼计算机结构

美国宾夕法尼亚大学摩尔学院的J. W. Mauchly（莫克利）和J. P. Eckert（埃克特）制造了世界上第一台通用电子数字计算机ENIAC，在第二次世界大战中已经投入运行，但在1946年才得以公开。ENIAC计算机有条件转移指令，可以编程，这与以往的计算器截然不同。ENIAC只有很少的存储空间，其编程通过手工插拔电缆和拨动开关完成，通常需要半小时到一天的时间。莫克利和埃克特还提出了改进程序输入方式的设想，希望能够像存储数据那样存储程序代码。

1944年，冯·诺伊曼（Von Neumann）被ENIAC项目吸引，并在一份备忘录中提出了能够存储程序的计算机设计构想。Herman Goldstine发表了这份备忘录，并冠以冯·诺伊曼的名字。之后，术语“冯·诺伊曼计算机”被广泛引用，它代表存储程序的计算机结构，并成为现代计算机的基本特征。冯·诺伊曼计算机的基本思想是：

- 采用二进制形式表示数据和指令。指令由操作码和地址码组成。
- 将程序和数据存放在存储器中，计算机在工作时从存储器取出指令加以执行，自动完成计算任务。这就是“存储程序”和“程序控制”（简称存储程序控制）的概念。
- 指令的执行是顺序的，即一般按照指令在存储器中存放的顺序执行，程序分支由转移指令实现。
- 计算机由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件组成，并规定了各部分的基本功能。

#### 1. 组成部件

冯·诺伊曼计算机由5大部件组成：控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备。控制器是整个计算机的控制核心；运算器是对信息进行运算处理的部件；存储器是用来存放数据和程序的部件；输入设备将数据和程序转换成计算机内部所能识别和接受的信息方式，并顺序地把它们送入存储器中；输出设备将计算机处理的结果以人们能接受的或其他机器能接受的形式送出。

原始的冯·诺伊曼计算机在结构上是以运算器为中心的，但演变到现在，电子数字计算机已经转向以存储器为中心，如图1-1所示。由图1-1可知，计算机各部件之间的联系是通过两种信息流实现的。虚线代表数据流，实线代表控制流。数据由输入设备输入，存入存储器中；在运算过程中，数据从存储器读出，送到运算器进行处理；处理的结果存入存储器，或经输出设备输出；而这一切则是由控制器执行存于存储器中的指令实现的。

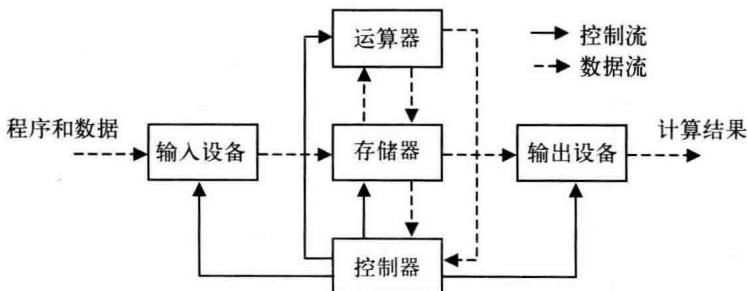


图1-1 冯·诺伊曼计算机结构

现代计算机在很多方面都对冯·诺伊曼计算机结构进行了改进，例如，在现代计算机中，5大部件成为3个硬件子系统：处理器、存储系统和输入输出系统，参见图1-2。处理器（中央处理单元，CPU）包括运算器和控制器，是信息处理的中心部件，现在都被制作在一起，形成处理器芯片。存储系统由寄存器、高速缓冲存储器、主存储器和辅助存储器几个层次构成。处理器和存储系统在信息处理中起主要作用，是计算机硬件的主体部分，通常被合称为主机。输入（Input）设备和输出（Output）设备统称为外部设备，简称为外设或I/O设备。输入输出系统的主体是外设，还包括外设与主机之间相互连接的接口电路。

## 2. 二进制编码

冯·诺伊曼计算机采用二进制形式表示数据（Data）和指令（Instruction）。这说明现实中的一切数据（信息），包括控制计算机操作的指令，在计算机中都是一串“0”和“1”数码。这串数码是按照一定规律（即二进制编码规则）组合起来的。不同的信息用不同的数码表示，同样的信息也可以按照不同的编码规则用不同的数码表示，以便计算机进行不同的处理。

指令是控制计算机操作的命令，是处理器不需要翻译就能识别（直接执行）的“母语”，即机器语言。程序虽然可以用C、C++或Java等高级语言编写，但需要由编译程序或解释程序翻译成指令，才可以由处理器执行，所以程序是由指令构成的。

指令的二进制编码规则形成了指令的代码格式，指令由操作码和地址码组成。指令的操作码（Opcode）表明指令的操作，例如，数据传送、加法运算等基本操作。操作数（Operand）是参与操作的数据，主要以寄存器或存储器地址的形式指明数据的来源，所以也称为地址码。例如，数据传送指令的源地址和目的地址，加法指令的加数、被加数及和值，它们都是操作数。

二进制只支持“0”和“1”两个数码，可以表示电源的关（Off）和开（On）两种状态，对应数字信号的低电平（Low）和高电平（High）。数字计算机中信息的最基本单位就是二进制位（所以，计算机专业书籍等文献中的“位”常常是二进制位，而不是日常生活中的十进制位），或称为比特（binary digit, bit）。4个二进制位称为半字节（Nibble），8个二进制位构成1字节（Byte）。IBM PC系列机以16位结构的Intel 8086和80286作为处理器并获得广泛应用，所以Intel 80x86系列微处理器常以16位为一个字（Word），这样32位称为双字（Double Word），64位称为4字（Quad Word）。

数据用二进制位表达时，仍然按日常书写习惯低位在右边、高位在左边。最低位常称为最低有效位（Least Significant Bit, LSB），即 $D_0$ 位；最高位则称为最高有效位（Most Significant Bit, MSB），对应字节、字、双字和4字数据依次是 $D_7$ 、 $D_{15}$ 、 $D_{31}$ 和 $D_{63}$ 。二进制（Binary）表达不直观也不方便，所以通常用易于与其相互转换的十六进制（Hexadecimal）表达。本书将借用汇编语言通常使用的方法，用后缀字母H（大小写均可）表示十六进制数据（高级语言通常用前缀0x表示），而二进制数据用后缀字母B（大小写均可）表示。一个十六进制位对应4个二进制位，即 $0H=0000B$ ， $1H=0001B$ ， $\dots$ ， $9H=1001B$ ， $AH=1010B$ ， $\dots$ ， $FH=1111B$ 。

## 3. 存储程序和程序控制

存储程序是把指令以代码的形式事先输入到计算机的主存储器中，这些指令按一定的规则组成程序。程序控制是当计算机启动后，程序会控制计算机按规定的顺序逐条执行指令，自动完成预定的信息处理任务。所以，程序和数据在执行前需要存放在主存储器中，在执行时才从主存储器进入处理器。

主存储器是一个很大的信息存储库，被划分成许多存储单元。为了区分和识别各个存储

单元，并按指定位置进行存取，给每个存储单元编排一个唯一的编号，称为存储单元地址 (Memory Address)。在现代计算机中，主存储器是字节可寻址的 (Byte Addressable)，即主存储器的每个存储单元具有一个地址，保存1字节 (8个二进制位) 的信息。对存储器的基本操作是按照要求向指定地址 (位置) 存进 (即写入, Write) 或取出 (即读出, Read) 信息。只要指定位置就可以进行存取的方式，称为随机存取。

处理器的主要功能是从主存储器读取指令 (简称取指)，翻译指令代码 (简称译码)，然后执行指令所规定的操作 (简称执行)。当一条指令执行完以后，处理器会自动地去取下一条将要执行的指令，重复上述过程直到整个程序执行完毕。处理器就是在重复进行“取指-译码-执行周期” (Fetch-Decode-Execute Cycle) 的过程中完成一条条指令的执行，实现了程序规定的任务。

处理器中包含一个程序计数器 (Program Counter, PC)，处理器利用它确定下一条要执行的指令在主存储器中的存放地址。程序计数器PC具有自动增加数量 (增量) 的能力，指示处理器按照地址顺序执行指令，即程序的顺序执行。而指令集中的转移指令能够改变程序计数器PC内的数值，从而改变程序的执行顺序，实现分支、循环、调用等程序结构。

### 1.2.2 微型计算机的硬件组成

为简化各个部件的相互连接，现代计算机广泛应用总线结构。采用总线连接系统中的各个功能部件使得微机系统具有组合灵活、扩展方便的特点。其构成框图如图1-2所示。

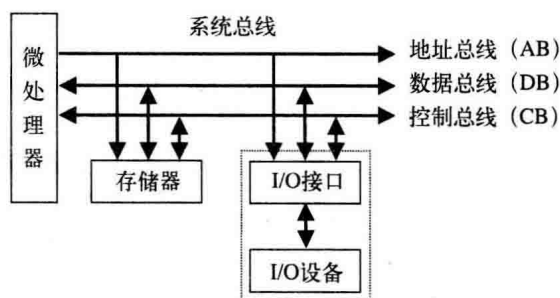


图1-2 微型计算机的硬件组成

#### 1. 微处理器

微处理器是微机系统的控制中心，简称处理器，也就是微机的中央处理单元 (CPU)。它是采用大规模集成电路技术生产的半导体芯片，芯片内集成了控制器、运算器和寄存器。高性能处理器更加复杂，例如，在整数运算器的基础上增加了浮点处理单元甚至多媒体数据运算单元，控制器还会包括存储管理单元、代码保护机制等。

#### 2. 存储器

存储器 (Memory) 是存放程序和数据的部件。高性能微机的存储系统由微处理器内部的寄存器 (Register)、高速缓冲存储器 (Cache)、主板上的主存储器和以外设形式出现的辅助存储器构成。

微机的主存储器 (简称主存或内存) 由半导体存储器芯片组成，安装在机器内部的电路板上，相对辅助存储器来说，主存储器造价高、速度快，但容量小，主要用来存放当前正在运行的程序和正待处理的数据。微机的辅助存储器 (简称辅存或外存) 主要由磁盘、光盘存

储器等构成,以外设的形式安装在机器上,相对主存储器来说,辅助存储器造价低、容量大、信息可长期保存,但速度慢,主要用来长久保存程序和数据。

从读写功能来区分,主存储器分为可读可写的随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)和只读存储器(Read Only Memory, ROM)。构成主存时既需要RAM也需要ROM,但注意半导体RAM芯片在断电后原存放信息将会丢失,而ROM芯片中的信息可在断电后长期保存。磁盘存储器通常都是可读可写存储器,常见的光盘(即CD-ROM)却是只读存储器。

### 3. I/O设备和I/O接口

I/O设备是指计算机系统的输入设备和输出设备,也称外部设备或外围设备(简称外设, Peripheral),其作用是让用户与微机实现交互。例如,PC上配置的标准输入设备是键盘,标准输出设备是显示器,二者合称为控制台。

根据应用需要,微机可能连接各种各样的I/O设备。但各种外设的工作方式各异,必须通过I/O接口才能与微处理器连接,以实现数据缓冲、联络控制等匹配操作。简单的I/O接口可以直接制作在主板上,较复杂的I/O接口可以制成独立的电路板(也常称为接口卡, Card)。例如,PC连接键盘的I/O接口常在主板上,而连接显示器的I/O接口则可能是一个独立的显示卡(简称显卡)。

### 4. 系统总线

总线(Bus)是用于多个部件相互连接、传递信息的公共通道,物理上就是一组公用导线。任一时刻在总线上只能传送一种信息,也就是只能有一个部件在发送信息,但可以有多个部件在接收信息。这里的系统总线(System Bus)是指微机系统中,微处理器与存储器和I/O设备进行信息交换的公共通道。

总线有几十条到上百条信号线,这些信号总线一般可分为三组:

#### (1) 地址总线(Address Bus, AB)

在该组信号线上,微处理器单向输出将要访问的主存单元或I/O端口的地址信息。地址线的多少决定了系统能够直接寻址存储器的容量大小和外设端口范围。

#### (2) 数据总线(Data Bus, DB)

微处理器进行读(Read)操作时,主存或外设的数据通过该组信号线输入微处理器;微处理器进行写(Write)操作时,微处理器的数据通过该组信号线输出到主存或外设。数据总线可以双向传输信息,为双向总线。数据线的多少决定了一次能够传送数据的位数。

#### (3) 控制总线(Control Bus, CB)

控制总线用于协调系统中各部件的操作。其中,有些信号线将微处理器的控制信号或状态信号送往外界;有些信号线将外界的请求或联络信号送往微处理器;个别信号线兼有以上两种情况。控制总线决定了总线的功能强弱、适应性的好坏。各类总线的特点主要取决于其控制总线。

## 1.2.3 IBM PC系列机结构

1981年,以生产大型机著称的蓝色巨人IBM公司从8位Apple-II微机中看到了市场潜力,选用Intel公司的8088微处理器和Microsoft公司的DOS操作系统开发了IBM PC;1982年,将它进一步扩展为IBM PC/XT(eXpanded Technology)。1984年,Intel公司推出新一代16位微处理器80286,IBM以它为核心组成16位增强型个人计算机IBM PC/AT(Advanced Technology)。



现在，IBM PC/XT/AT被统称为16位IBM PC系列机。由于IBM公司在发展PC时采用了技术开放的策略，许多公司围绕PC研制生产了大量的配套产品和兼容机，并提供了巨大的软件支持，使得PC风靡世界。

我们通过键盘、鼠标和显示器等外设使用微机，而其核心则是机箱内的主机电路板。IBM PC/XT和IBM PC/AT主板电路结构分别如图1-3和图1-4所示，主要由4部分组成。

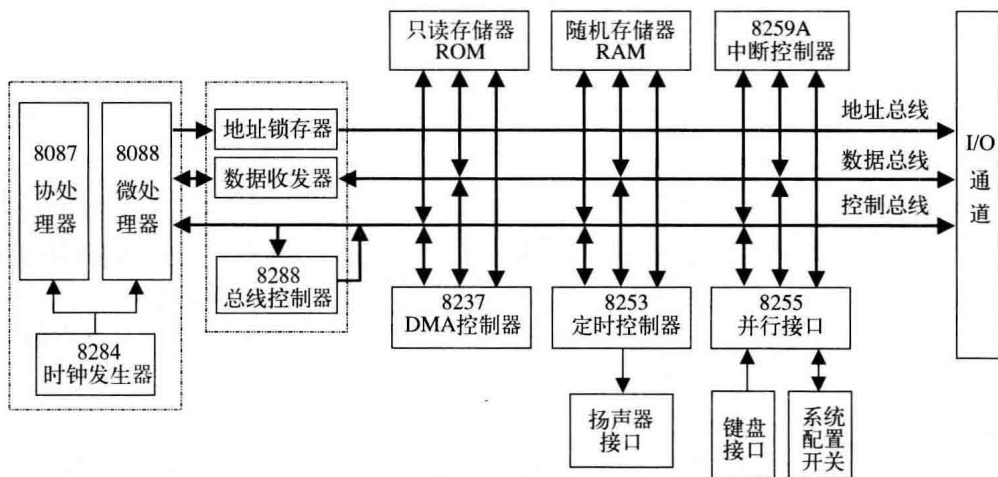


图1-3 IBM PC/XT主板结构

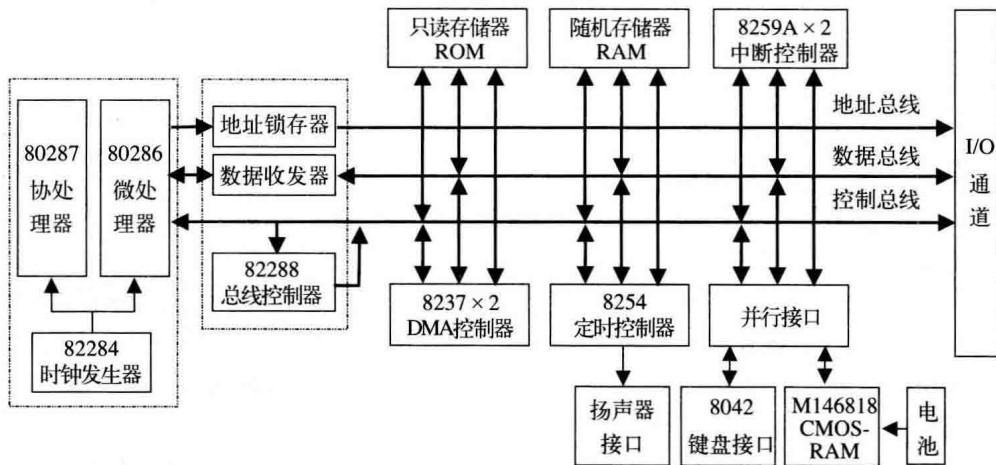


图1-4 IBM PC/AT主板结构

### 1. 微处理器

IBM PC/XT使用8088作为微处理器。8088具有8位数据总线、20位地址总线，可以访问1MB主存空间。8088源自8086微处理器，只是将8086的16位数据总线简化为8位，指令系统等其他方面则相同。

IBM PC/AT选用80286作为微处理器。80286采用实地址工作方式时，与8086相同，但运行速度更快。80286还可以采用功能更强的保护工作方式，支持16位数据总线和24位地址总线。

IBM PC系列机主板中，微处理器需要与总线控制器（8288或82288）以及地址锁存器和数据收发器共同形成系统总线，时钟发生器（8284或82284）向系统提供4.77MHz或8MHz的工作