



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部“高等学校教学质量与教学改革工程”立项项目

教育部—微软精品课程配套教材

钱晓捷 主编
姚俊婷 张青 编著

微型计算机原理及应用 (第2版)

计算机科学与技术专业实践系列教材

清华大学出版社



教育部“高等学校教学质量与教学改革工程”立项项目

教育部—微软精品课程配套教材

计算机科学与技术专业实践系列教材

微型计算机原理及应用 (第2版)

钱晓捷 主编

姚俊婷 张 青 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书融合 16 位和 32 位微处理器、个人计算机和汇编语言,以循序渐进、深入浅出、突出实践的方法,介绍了微处理器的发展、微机的组成、微处理器内部结构和外部特性、指令功能和汇编语言程序设计、存储系统、输入输出接口及其应用技术。

本书可以作为普通高校“微型机原理及接口技术(微型机原理及应用)”或“汇编语言程序设计”等课程的教材或参考书,适合计算机及电子、通信和自控等电类专业的本科学生。本书起点低,也特别适合软件学院、电类专科、高职、成教学生,以及非电类本专科学生,还可以作为计算机应用开发人员、希望深入学习微机应用技术的培训班学员和普通读者的入门读物。

为方便学习,本书配有《微型计算机原理及应用教学辅导与习题解答(第 2 版)》(ISBN 978-7-302-24625-1)。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理及应用/钱晓捷主编. —2 版. —北京:清华大学出版社,2011.6
(计算机科学与技术专业实践系列教材)

ISBN 978-7-302-24624-4

I. ①微… II. ①钱… III. ①微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 013512 号

责任编辑:汪汉友 李玮琪

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:18.75

字 数:455 千字

版 次:2011 年 6 月第 2 版

印 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

产品编号:040841-01

前 言

《微型计算机原理及应用》出版以来,获得国内高等院校普通本科和专科计算机、电子、通信等相关专业师生的认可,综合广大师生的意见建议和我们的教学体会,按照出版社要求,我们编写了本教材的第2版。

本版教材保持了前一版的知识结构、主体内容和编排特色不变,主要进行了如下方面的修订:

(1) 增加内容,主要是USB总线和LED数码管。

(2) 完善内容,包括改进输入输出子程序库和开发环境,插入一个简单的例题程序讲解子程序参数传递,增加一个附录解释列表文件中常见符号的含义,还有对部分程序添加注释、个别重难点辅助图表说明、文字增删润色等。

本教材配套有《微型计算机原理及应用教学辅导与习题解答(第2版)》(ISBN 978-7-302-24625-1)教材,并开辟了“大学微机技术系列课程教学辅助网站”(微辅网:<http://www2.zzu.edu.cn/qwfw>),欢迎大家通过电子邮件与作者(qianxiaojie@zzu.edu.cn)交流。

本教材由郑州大学钱晓捷主编,姚俊婷、张青参与编写,南昌大学徐苏教授主审。作者衷心感谢同行的帮助,感谢广大师生的支持。

作 者

2011年5月

第1版前言

作为面向全国普通高等院校本专科学学生的教材，根据丛书编委会要求和有关专家的意见，结合作者教学经验，本教材以微型机原理和汇编语言程序设计为基础，以 I/O 接口技术为应用，同时涉及高性能微处理器。具体来说，本书分成如下 9 章：

第 1 章微型计算机系统，通过微处理器发展引出各种基本概念，以 16 位和 32 位 PC 为例，介绍微型机结构和组成。

第 2 章微处理器内部结构，重点介绍 IA-32 微处理器整数寄存器和存储器组织形式。

第 3 章汇编语言基础，给出汇编语言源程序结构，以示例程序介绍数据表示和变量应用，以及汇编语言常用的伪指令。

第 4 章 IA-32 指令系统，介绍微处理器进行数据处理的主要指令，通过示例程序熟悉指令功能、掌握指令应用，并逐步编写程序。

第 5 章控制转移和程序结构，用转移、循环和子程序指令引出程序结构，结合数码转换、字符串处理、键盘输入和显示输出等大量示例程序，介绍顺序、分支、循环和子程序结构的汇编语言程序设计。

第 6 章微处理器外部特性，从 16 位 8086 和 32 位 Pentium 引脚，到 16 位 ISA 和 32 位 PCI 总线，介绍部件连接的信号功能和操作时序。

第 7 章存储系统，重点介绍各种半导体存储器的特点，理解存储器地址译码原理。

第 8 章输入输出接口，在熟悉 I/O 接口的特点、编址和指令基础上，结合 I/O 接口电路介绍微型机与外设进行无条件、查询、中断和 DMA 数据传送的原理，并详细介绍了微处理器的中断机制和编程方法。

第 9 章常用接口技术，综合已学知识，以应用为目的，介绍定时控制、并行接口、串行通信和模拟系统的基本原理，以及扬声器控制、PC 键盘输入、异步串行通信的常用接口技术。

随着微型计算机技术的飞速发展和广泛应用，从教育部到各级各类高校都在进行各种形式的教学改革。本教材顺应改革，对比同类教材，形成以下特色：

1. 强调原理，淡化细节

微型计算机技术的突出特点是教学内容虽不深奥但较琐碎，既有共性的工作原理，又有具体应用的技术方法。本教材在编著过程中，比较强调基本概念和工作原理，不过多表述实现细节。例如，本教材以 IA-32 微处理器及 32 位指令系统为起点，融合 16/32 位微机原理，不特别区别 16/32 位微处理器、16/32 位指令；抓住微处理器和总线的关键引脚信号，没有详细介绍所有引脚功能；重点说明存储器地址译码原理，不分析存储器芯片的连接细节；选择常用指令重点展开而不是对所有指令泛泛而谈。

2. 以编程实践循序渐进掌握程序设计

处理器指令和汇编伪指令繁多，调试程序难以掌握，是学习本课程的一个难点。传统

的教学顺序是：先数据编码，后指令系统，再后是伪指令，最后介绍程序设计。在积累了大量指令和规则后才引出程序，往往又没有输入输出交互，编写的程序不知对错。本教材从第3章开始就介绍汇编语言的语句格式、源程序格式和开发方法，然后结合精心编制的示例程序，掌握数据编码、常量定义和变量应用，同时自然引出常用伪指令、显示输出和键盘输入的DOS功能调用。第4章重点学习常用指令，先要求能够阅读源程序、写好每条指令，逐渐编写特定要求的程序段。第5章从程序结构角度，逐步要求编写有实用目的的程序，程序也从小到大，越来越复杂，最后布置了一个具有一定难度和实用价值的任务。后续章节结合I/O接口技术，介绍I/O指令和I/O程序、中断服务程序，以及扬声器控制、键盘扫描码读取、异步串行通信程序，将上机实践贯穿始终。

3. 面向普通学生，降低入门要求

本教材充分考虑到普通院校本专科学生以及自学者的实际知识水平，以清晰的逻辑结构，由浅入深介绍教学内容；尽量使用浅显生动的语言，不惜笔墨详尽讲解重点和难点知识；只要求读者具有计算机（文化）基础和高级语言的入门知识，掌握微机操作，不要求读者熟悉数字电路、计算机组成原理等内容。例如，本教材介绍基本逻辑运算、门电路、锁存器、三态缓冲器和译码器等硬件知识，还补充MS-DOS环境（基于Windows操作系统）的操作、MASM 6.15命令行开发方法、调试程序CodeView的使用等方法软件方面内容。又如，本教材详细介绍开发软件包的构成，精选大量示例程序，并提供作者编写的键盘输入和显示输出I/O子程序库，读者完全可以依据教材所述自主完成各个程序。另外，课程虽然涉及硬件接口，但本教材设计有在PC上实现的实践环节，所以可以不配置硬件实验平台而开设本课程。当然，如果能够结合硬件实验平台，效果会更加理想。

本教材努力从结构组织、内容编排和上机实践等多方面避免同类教材的不足，努力做到结构新颖、内容充实、知识先进，在有限的篇幅中让广大读者有所收获，掌握一些实实在在的东西。为了更好地服务于广大师生和读者，作者建立了“大学微机技术系列课程教学辅助网站”（<http://www2.zzu.edu.cn/qwfw>）。网站主要为“微机原理及接口技术”和“汇编语言程序设计”课程提供有关教学课件、教学大纲、教材勘误、疑难解答、自测练习、补充资料等辅助资源，是本教材的动态延伸，欢迎访问。另外，教材的疏漏和不当、相关教学问题的探讨，广大师生和读者也都可以通过电子邮件（qianxiaojie@zzu.edu.cn）与作者交流。

本教材由钱晓捷主编，其中，钱晓捷编写第1~5章和第9章，姚俊婷编写第6章、附录和习题，张青编写第7章和第8章。本教材在编写过程中还得到了穆玲玲、咎红英和关国利等教师的帮助。南昌大学计算机系主任徐苏教授认真审阅了全书，并提出了宝贵的改进意见。郑州大学信息工程学院院长王忠勇教授推荐在清华大学出版社出版，作者在此一并表示衷心的感谢。

作 者

2006年1月

目 录

第 1 章 微型计算机系统.....	1
1.1 微处理器发展.....	1
1.1.1 微处理器历史.....	1
1.1.2 Intel 80x86 系列微处理器	3
1.2 微型计算机组成.....	7
1.2.1 微型计算机结构.....	7
1.2.2 个人计算机结构.....	8
习题.....	14
第 2 章 微处理器内部结构.....	16
2.1 微处理器功能结构.....	16
2.1.1 微处理器基本结构.....	16
2.1.2 8086 的功能结构.....	17
2.1.3 IA-32 的功能结构	19
2.2 IA-32 微处理器寄存器	21
2.2.1 整数寄存器.....	21
2.2.2 浮点及多媒体寄存器.....	25
2.3 微处理器存储器组织.....	27
2.3.1 IA-32 工作方式	27
2.3.2 实方式的逻辑段.....	28
2.3.3 保护方式的段页管理.....	28
习题.....	31
第 3 章 汇编语言基础.....	33
3.1 源程序结构.....	33
3.1.1 语句格式.....	33
3.1.2 程序格式.....	35
3.1.3 开发方法.....	40
3.2 数据表示.....	43
3.2.1 数制.....	43
3.2.2 编码.....	46
3.2.3 常量表达.....	47
3.3 变量应用	49
3.3.1 变量定义.....	50

3.3.2 变量属性.....	53
习题.....	56
第4章 IA-32 指令系统	59
4.1 数据寻址方式.....	59
4.1.1 立即数寻址方式.....	59
4.1.2 寄存器寻址方式.....	60
4.1.3 存储器寻址方式.....	61
4.2 数据传送类指令.....	66
4.2.1 数据传送指令.....	67
4.2.2 堆栈操作指令.....	69
4.2.3 地址传送指令.....	72
4.3 算术运算类指令.....	72
4.3.1 加法指令.....	72
4.3.2 减法指令.....	74
4.3.3 乘法除法等指令.....	76
4.4 位操作类指令.....	79
4.4.1 逻辑运算指令.....	79
4.4.2 移位指令.....	82
4.5 串操作类指令.....	86
4.5.1 串操作的寻址特点.....	86
4.5.2 串传送指令.....	86
4.5.3 串检测指令.....	89
习题.....	91
第5章 控制转移和程序结构	96
5.1 目标地址寻址方式.....	96
5.1.1 转移范围.....	96
5.1.2 寻址方式.....	97
5.1.3 无条件转移指令.....	97
5.2 分支程序结构.....	99
5.2.1 条件转移指令.....	100
5.2.2 单分支结构.....	105
5.2.3 双分支结构.....	106
5.2.4 多分支结构.....	108
5.3 循环程序结构.....	110
5.3.1 循环指令.....	111
5.3.2 计数控制循环.....	112
5.3.3 条件控制循环.....	113

5.4	子程序结构.....	115
5.4.1	子程序指令.....	115
5.4.2	子程序设计.....	117
5.4.3	参数传递.....	120
5.4.4	程序模块.....	128
	习题.....	135
第 6 章	微处理器外部特性.....	140
6.1	8086 的引脚信号.....	140
6.1.1	地址/数据信号.....	141
6.1.2	读写控制信号.....	141
6.1.3	其他控制信号.....	143
6.2	8086 的总线时序.....	144
6.2.1	写总线周期.....	145
6.2.2	读总线周期.....	146
6.3	奔腾微处理器引脚和时序.....	147
6.3.1	引脚定义.....	148
6.3.2	总线周期.....	150
6.4	微机系统总线.....	150
6.4.1	微机总线技术.....	151
6.4.2	ISA 总线.....	155
6.4.3	PCI 总线.....	158
6.4.4	USB 总线.....	162
	习题.....	165
第 7 章	存储系统.....	167
7.1	存储系统组成.....	167
7.1.1	层次结构.....	167
7.1.2	高速缓存.....	169
7.1.3	技术指标.....	172
7.2	半导体存储器.....	173
7.2.1	随机存储器.....	173
7.2.2	只读存储器.....	177
7.3	存储器地址译码.....	180
7.4	个人微机主存空间分配.....	185
	习题.....	188
第 8 章	输入输出接口.....	191
8.1	I/O 接口概述.....	191
8.1.1	I/O 接口的典型结构.....	191

8.1.2	I/O 端口的编址	193
8.1.3	输入输出指令	195
8.2	外设数据传送方式	196
8.2.1	无条件传送	196
8.2.2	程序查询传送	199
8.2.3	中断传送	202
8.2.4	DMA 传送	205
8.3	中断系统	207
8.3.1	中断类型	207
8.3.2	中断向量表	210
8.3.3	中断服务程序	211
8.3.4	中断控制器及其应用	213
习题		220
第 9 章	常用接口技术	224
9.1	定时控制接口	224
9.1.1	8253/8254 定时器	224
9.1.2	定时器的应用	230
9.2	并行接口	232
9.2.1	并行接口电路 8255	233
9.2.2	8255 的应用	239
9.2.3	PC 键盘	241
9.2.4	LED 数码管	246
9.3	异步串行通信接口	250
9.3.1	串行通信基础	250
9.3.2	异步串行接口标准	252
9.3.3	异步通信程序	254
9.4	模拟接口	261
9.4.1	模拟输入输出系统	262
9.4.2	D/A 转换器	263
9.4.3	A / D 转换器	267
习题		273
附录 A	调试程序 CodeView	277
附录 B	常用 DOS 功能调用	283
附录 C	输入输出子程序库 IO.LIB	284
附录 D	列表文件常见符号	286
参考文献		287

第1章 微型计算机系统

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(简称为微型机或微机)应运而生,并获得广泛应用。本章以 Intel 80x86 微处理器通用微机系统为实例,介绍微处理器的发展和微型计算机的组成结构。

1.1 微处理器发展

在巨型机、大型机、小型机和微机等各类计算机中,微机(Microcomputer)是性能、价格、体积较小的一类,常应用在科学计算、信息管理、自动控制、人工智能等领域。工作中使用的个人微机,生产生活中运用的各种智能化电子设备都是典型的微机系统。

微机的运算和控制核心,即所谓的中央处理单元(Central Processing Unit, CPU),被称为微处理器(Microprocessor)。它是一块大规模集成电路芯片,代表着整个微机系统的性能。所以,通常就将采用微处理器为核心构造的计算机称为微机。

1.1.1 微处理器历史

微处理器的性能经常用字长、时钟频率、集成度等基本的技术参数来反映。字长(Word)表明微处理器每个时间单位可以处理的二进制数据位数,例如一次进行运算、传输的位数。时钟频率表明微处理器的处理速度,反映了微处理器的基本时间单位。集成度表明微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。

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了一个微处理器芯片。该芯片成为世界上第一个微处理器 4004。它字长 4 位,集成了约 2300 个晶体管,时钟频率为 108kHz。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。4004 随后被改进为 4040。

1972 年 Intel 公司研制出字长 8 位的微处理器芯片 8008,其时钟频率为 500kHz,集成度约 3500 个晶体管。随后的几年当中,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。例如 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、Microsoft(微软)公司的操作系统开发的 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,就陆续研制生产了 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。

2000 年,Intel 公司在微机高端产品服务器中使用了字长 64 位的新一代微处理器 Itanium (安腾)。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 (Extended Memory 64 Technology, EM64T),后被称为 Intel 64 位结构。2005 年以后,采用 64 位技术的桌面微机逐渐获得用户青睐。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进入了一个全新的多核时代。

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),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,如只读存储器 (Read-Only Memory, ROM)、随机存储器 (Random Access Memory, RAM)、计时器、并行接口和串行接口,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 AT89 系列 (与 MCS-51 兼容)、Microchip Technology 公司的 PIC 系列单片机。1982 年以后高性能的 16 位、32 位微控制器出现,例如 Intel 公司的 MCS-96/98 系列、Atmel 公司的 AT91 系列 (基于 ARM 内核)。

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,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 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。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,把计算机直接嵌入到应用系统之中,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，但各有其特点，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 80x86 和以其构成的 PC 为蓝本展开教学，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一个基础知识。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。

1.1.2 Intel 80x86 系列微处理器

美国 Intel 公司是目前世界上最有影响的微处理器生产厂家，也是世界上第一个微处理器生产厂家。它们生产的 80x86 系列微处理器一直是个人微机的主流微处理器。Intel 80x86 系列微处理器的发展就是微型计算机发展的一个缩影。

1. 8086

1978 年，Intel 公司推出了 16 位 8086 微处理器，这是该公司生产的第一个 16 位芯片。8086 的数据总线为 16 位，地址总线为 20 位，主存容量 1MB，时钟频率 5MHz。1979 年 Intel 公司推出 8088，它只是将外部数据总线设计为 8 位，被称为准 16 位微处理器。80186 和 80188 则是以 8086 和 8088 为核心，并配以支持电路构成的芯片。

微处理器的对外引脚（Pin）用于与其他电路进行连接，以构成微机系统。微处理器引脚也常被称为处理器总线（Bus），主要由三组信号总线组成：数据总线（Data Bus，DB）、地址总线（Address Bus，AB）和控制总线（Control Bus，CB）。

数据总线是处理器与存储器或外设交换信息的通道，其个数（条数）就是一次能够传送数据的二进制位数，通常等于微处理器字长。

地址总线用于指定存储器或外设的具体单元，其个数反映微处理器能够访问的主存储器容量或外设范围。由于每个信号线只能是高或低电平两种状态，对应 1 或 0 两种编码，所以对于 20 位地址信号线的 8086 来说，最多能够有 2^{20} 个组合状态（编码）。每个编码就是一个地址，每个地址指示一个存储单元或 I/O 端口，其中包含一个字节数据。这样，8086 的主存容量为： $2^{20}\text{B}=1024\times 1024\text{B}=1024\text{KB}=1\text{MB}$ ，这里 $1\text{KB}=2^{10}\text{B}=1024\text{B}$ 。

控制总线用于控制处理器数据传送等操作，例如存储器读信号（MEMR）有效说明处理器正在从存储器当中读取信息，还有存储器写（MEMW）、外设读（IOR）、外设写（IOW）等信号。

2. 80286

1982 年，Intel 公司推出仍为 16 位字长的 80286 微处理器，但地址总线扩展为 24 位，即主存储器具有 16MB 容量。80286 设计有与 8086 工作方式一样的实方式（Real Mode），还有新增的保护方式（Protected Mode）。在保护方式下，80286 提供了存储管理、保护机制和多任务管理的硬件支持。这些传统上由操作系统实现的功能在处理器硬件支持下，使微机系统的性能得到极大提高。

3. 80386

1985 年，Intel 80x86 微处理器进入第三代 80386。80386 微处理器采用 32 位结构，数据总线 32 位，地址总线也是 32 位，可寻址 4GB 主存（ $1\text{GB}=2^{30}\text{B}=1024\text{MB}$ ），时钟频率有 16MHz、25MHz 和 33MHz。作为 32 位微处理器，80386 设计得非常成功。当时，Intel 公司明确宣布 80386 芯片的体系结构将被确定为以后开发的 80x86 系列微处理器的标准，

称为英特尔 32 位结构：IA-32（Intel Architecture-32）。IA-32 指令系统全面升级为 32 位，但仍然兼容原 16 位指令系统。

80386 除保持与 80286 兼容外，又提供了虚拟 8086 工作方式（Virtual 8086 Mode）。虚拟 8086 方式只是在保护方式下的一种特殊状态，类似 8086 工作方式但又接受保护方式的管理，能够模拟多个 8086 处理器。32 位 PC 的 Windows 操作系统采用保护方式，其 MS-DOS 命令行（环境）就是虚拟 8086 方式，而早期采用的 DOS 操作系统是以实方式为基础建立的。

为了适应便携机要求，Intel 公司在 1990 年生产的低功耗节能型芯片中，增加了一种新的工作状态：系统管理方式（System Management Mode, SMM）。它是指当微处理器进入这种工作状态后，微处理器会根据当时不同的使用环境，自动减速运行，甚至停止运行。这时微处理器还可以控制其他部件停止工作，从而使微机的整体耗电降到最小。

4. 80486

1989 年，Intel 公司推出 80486 微处理器。从结构上来说 80486=80386+80387+8KB Cache，即 80486 把 80386 微处理器与 80387 数学协处理器和 8KB 高速缓冲存储器（Cache）集成在一个芯片上，使微处理器的性能大大提高。为了协助微处理器处理浮点数据，Intel 公司设计有数学协处理器，后被称为浮点处理单元（Floating-Point Unit, FPU）。配合 8086 和 8088 的是 8087，配合 80286 的是 80287，配合 80386 的是 80387。而从 80486 开始，FPU 已经被集成到一个微处理器芯片当中。高速缓冲存储器是微处理器与主存之间速度很快但容量较小的存储器，可以有效地提高整个存储器系统的存取速度。80486 不仅在芯片内部集成有 8KB 第一级高速缓存（L1 Cache），而且支持外部第二级高速缓存（L2 Cache）。

Intel 80x86 系列微处理器是传统的复杂指令集计算机（Complex Instruction Set Computer, CISC），它采用大量的、复杂的但功能强大的指令来提高性能。复杂指令一方面提高了处理器性能，另一方面又给进一步提高性能带来了麻烦。所以，人们又转而设计主要由简单指令组成的处理器，以期在新的技术条件下生产更高性能的处理器，这就是精简指令集计算机（Reduced Instruction Set Computer, RISC）。80486 及以后的 IA-32 微处理器吸取 RISC 技术特长将其融入 CISC 中，同时采用流水线方式的指令重叠执行方法，从而使 80486 可以在一个时钟周期执行完成一条简单指令。指令流水线技术是将指令的执行划分成多个步骤，在多个部件中独立地进行，这样使得多条指令可以在不同的执行阶段同时进行，就像工厂中的产品流水线一样。

80486 DX4 综合了此前所使用的所有技术，是 80486 微处理器中速度最快的一种芯片。它采用时钟倍频（Clock Doubling）思想，将外部时钟频率 25MHz 或 33MHz 提高 3 倍作为内部工作时钟频率，形成 75MHz 或 100MHz 两款产品。以前的微机系统中，微处理器的内、外部时钟频率是一样的，同样也就是处理器与外围部件的数据传输频率。微处理器的时钟频率提高了，系统的运行速度当然也就提高了。但是，当外部数据传输频率太高时，会给外围部件、主板等设计带来困难。为了既能尽量提高微处理器的时钟频率以增强性能，又能迁就较慢速的外围部件，使高频率的微处理器照样能够使用，Intel 公司采取了这种时钟倍频技术。

5. Pentium

Pentium 芯片即俗称的 80586 微处理器，因为数字很难进行商标版权保护的缘故而特

意取名。其实，Pentium 源于希腊文 pente（数字 5），加上后缀-ium（化学元素周期表中命名元素常用的后缀）变化而来的。同时，Intel 公司为其取了一个响亮的中文名称“奔腾”，并进行了商标注册。为了满足不断发展的应用和市场需求，这一代 80x86 微处理器形成了 Pentium 系列芯片。

Intel 公司于 1993 年制造成功 Pentium。其内部时钟频率有 120MHz、133MHz、166MHz 和 200MHz 等多款，外部频率主要是 60MHz 和 66MHz。Pentium 虽然仍属于 32 位结构，但其与主存连接的外部数据总线却是 64 位的，这样大大提高了存取主存的速度。

Pentium 引入了超标量（Superscalar）技术，内部具有可以并行工作的 2 条整数处理流水线，可以达到每个时钟周期执行 2 条指令。Pentium 还将 L1 Cache 分成两个彼此独立的 8KB 代码和 8KB 数据高速缓冲存储器，即双路高速缓冲结构，这种结构可以减少争用 Cache 的情况。另外，Pentium 对浮点处理单元做了重大改进，包含了专用的加法、乘法和除法单元。Pentium 还对常用的简单指令直接用硬件逻辑实现，对指令的微代码进行了重新设计。这些都提高了 Pentium 的整体性能。

6. Pentium Pro

Pentium Pro 于 1995 年正式推出，原来被称为 P6，中文名称为“高能奔腾”。Pentium Pro 由两个芯片组成：一是含 8KB 代码和 8KB 数据 L1 Cache 的 CPU，它由 550 万个晶体管构成；二是 CPU 上还封装了 256KB 或 512KB 的 L2 Cache，它由 1550 万或 3100 万个晶体管构成。Pentium Pro 扩展了超标量技术，具有 12 级指令流水线，能同时执行 3 条指令。

Pentium Pro 在微处理器结构上的最大革新是采用了动态执行技术。动态执行是 3 种技术结合的总称：分支预测、数据流分析和推测执行。分支预测技术预测程序的正确转移方向；数据流分析技术分析哪些指令依赖于其他指令的结果或数据，以便创建最优的指令执行序列；而推测执行技术利用分支预测和数据流分析，推测着执行指令。指令的实际执行顺序是动态的、乱序的，即不一定是指令的原始静态顺序，执行的临时结果暂存于处理器的缓冲区中，但最终的输出执行顺序仍然是指令的正确顺序。动态技术可以使处理器尽可能繁忙，避免可能引起的流水线停顿。

7. Pentium II

为了顺应微机向多媒体和通信方向发展，Intel 公司及时在其微处理器中应用了多媒体扩展（MultiMedia Extensions, MMX）技术。MMX 技术于 1996 年正式公布，它在 IA-32 指令系统中新增了 57 条整数运算多媒体指令，可以用这些指令对图像、音频、视频和通信方面的程序进行优化，使微机对多媒体的处理能力较原来有了大幅度提升。MMX 指令应用于 Pentium 处理器就是 Pentium MMX（多能奔腾）。MMX 指令应用于 Pentium Pro 处理器就是 Pentium II，它于 1997 年被推出。

在以往的结构中，L1 Cache 最快，在微处理器内部与微处理器同频工作；L2 Cache 次之，在主板上与主板同频（即微处理器外部频率）工作。微处理器与 L2 Cache 间的通道和微处理器与系统其他部件间的通道共用一条 64 位总线，这就造成主板总线上数据传输混乱、拥挤；而且由于主板的总线工作频率远低于微处理器内部主频（多倍关系），使得数据传输速度较慢。Pentium II 采用双重独立总线结构（Dual Independent Bus），微处理器与 L2 Cache 间单独使用一条 64 位的背侧总线，且其工作频率独自与微处理器的主频保持 1/2 的关系。这样，便提高了 L2 Cache 的速度。Pentium II 内部 L1 Cache 增大为 32KB+32KB，

L2 Cache 为 512KB。对于 233/266/300/333MHz 内频的 Pentium II 的外频是 66MHz；后来内频 350/400/450MHz 的 Pentium II 采用 100MHz 外部频率。

8. Pentium III

1999 年，针对因特网和三维多媒体程序的应用要求，Intel 公司在 Pentium II 的基础上又新增了 70 条 SSE (Streaming SIMD Extensions) 指令，开发了 Pentium III。SSE 指令侧重于浮点单精度多媒体运算，极大地提高了浮点 3D 数据的处理能力。SSE 指令类似于 AMD 公司发布的 3D Now! 指令。

后来，Intel 公司又推出了代号 Coppermine (铜矿) 的改进型 Pentium III。它将半速于 CPU 的 L2 Cache 改为集成在 CPU 芯片中的全速 L2 Cache，内频达到 1GHz，而外频是 133MHz。

9. Pentium 4

2000 年 11 月，Intel 公司推出 Pentium 4。它采用全新的被称为 NetBurst 的微结构，超级流水线达 20 级。最初的 Pentium 4 新增 76 条 SSE2 指令集，侧重于增强浮点双精度多媒体运算能力。2003 年的新一代 Pentium 4 微处理器，又新增了 13 条 SSE3 指令；该微处理器具有 1.25 亿个晶体管、3.4GHz 时钟频率，L2 Cache 更是达到了前所未有的 1MB 容量。

微处理器性能的提高依赖于新工艺和先进体系结构。半导体工艺水平决定了芯片的集成度和可以达到的时钟频率，而体系结构则决定了在相同集成度和时钟频率下微处理器的执行效率，所以说体系结构对微处理器至关重要。微处理器的内部结构通常被称为微体系结构或微结构 (Microarchitecture)。Pentium 4 一方面沿袭指令级并行 (Instruction-Level Parallel, ILP) 方法，通过进一步发掘指令之间可以同时执行的能力来提高性能，例如其 NetBurst 微结构；另一方面通过开发线程级并行 (Thread-Level Parallel, TLP) 方法从更高层次发掘程序中的并行性来提高性能，例如其超线程技术 (Hyper Threading, HT)。这里“线程”是一段运行的程序。在现在服务器应用程序、在线处理、Web 服务甚至桌面应用程序中都包含可以并行执行的多个线程。3.06GHz 的 Pentium 4 开始支持 HT 技术，它使一个物理处理器对操作系统来说看似有两个逻辑处理器，这就允许两个程序线程，不管有关还是无关都可以同时执行。

10. Core

信息时代的应用对微型计算机性能提出了越来越高的要求，尤其随着互联网和电子商务的发展，人们对服务器的性能提出了更高的要求，32 位处理器已不能适应这一要求。Intel、AMD、IBM、Sun 等厂商已陆续设计并推出了多种采用 RISC 结构的 64 位处理器，但这些 64 位处理器主要面向服务器和工作站等高端应用，不能兼容通用 PC。AMD 公司于 2003 年率先推出支持 64 位、兼容 80x86 指令集结构的处理器，将桌面 PC 引入了 64 位领域。次年，英特尔公司也推出了兼容 IA-32 结构的扩展存储器 64 位技术，被称为 Intel 64 结构。

由于功耗、发热等问题，Intel 公司设计了 Core (酷睿) 微结构降低功耗、提升单个处理器的性能。但是，单纯依靠提高时钟频率等方法，复杂的处理器微结构已经很难进一步提高性能。于是，Intel 公司利用单芯片多处理器技术，在一个集成电路芯片上制作了两个或多个处理器执行核心，即多核 (Multi-core) 处理器，这成为目前提高处理器硬件性能的主要技术。

Intel 奔腾处理器系列基于 Pentium 4 的 NetBurst 微结构实现多核技术。Intel 酷睿系列

处理器才是基于 Intel Core 微结构的多核处理器，例如 Intel Core 2 Duo 处理器支持双核，Intel Core 2 Quad 处理器则支持 4 核。

Intel 公司充分利用集成电路生产的先进技术和处理器结构的革新技术，推出了多种 Intel 80x86 系列处理器芯片，还面向低端 PC 生产 Celeron（赛扬）微处理器，面向高端服务器制造 Xeon（至强）微处理器。就目前的发展来看，Intel 公司正在积极推进多核处理器技术，推广支持 64 位处理器和 64 位软件的微型计算机系统。

1.2 微型计算机组成

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体的物理设备，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以及有关的文档资料），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。PC 是微型计算机常用的一种。

1.2.1 微型计算机结构

运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备是组成计算机的 5 大部件。但从应用角度看，微型计算机由微处理器、存储器、输入输出 3 个子系统组成，相互间采用总线结构连接，如图 1-1 所示。

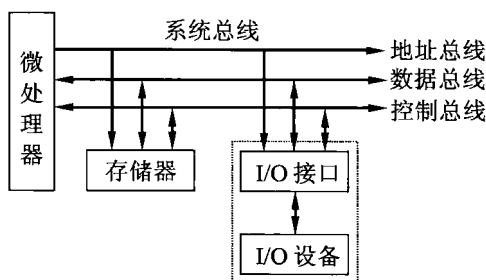


图 1-1 微型计算机的系统组成

1. 微处理器

微机的核心是微处理器，也就是微机的中央处理器。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、运算器和若干高速存储单元（即寄存器）。高性能微处理器内部非常复杂，例如运算器中不仅有基本的整数运算器、还有浮点处理单元甚至多媒体数据运算单元，控制器包括存储管理单元、代码保护机制等。微处理器及其支持电路构成了微机系统的控制中心，对系统的各个部件进行统一的协调和控制。

2. 存储器

存储器（Memory）是存放程序和数据部件。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