

21世纪高职、高专计算机类教材系列

汇编语言 与微机原理教程

(第3版)

顾元刚 主 编
韩 雁 副主编
易顺明 主 审

Computer



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

21 世纪高职、高专计算机类教材系列

汇编语言与微机原理教程

(第3版)

顾元刚 主 编

韩 雁 副主编

易顺明 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

全书共分 13 章, 内容包括: 微型计算机概述、微型计算机基础、8086 微机机器语言指令、汇编语言程序、汇编语言程序设计、子程序设计、高级汇编语言技术、80X86 CPU、半导体存储器、输入/输出及中断系统、总线、可编程接口芯片及应用、常规外设子系统和 7 个附录。

本书内容翔实、重点突出、深入浅出、图文并茂、文字流畅, 适用于高等职业院校以及大学本科各类计算机专业、电子信息专业、通信专业、数控技术专业及其相关专业教学, 也可作为各相关专业的成人教育教材, 还可供科技人员自学参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

汇编语言与微机原理教程/顾元刚主编. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2008.5
21 世纪高职、高专计算机类教材系列
ISBN 978-7-121-06338-1

I. 汇… II. 顾… III. ①汇编语言—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 ②微型计算机—理论—高等学校: 技术学校—教材 IV.TP313 TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 046348 号

策划编辑: 刘海艳

责任编辑: 宋兆武

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 22.75 字数: 597 千字

印 次: 2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序 言



1. 缘起与背景

20 多年来,我国应用型高等教育、高等职业教育得到了长足的发展,计算机专业的教学改革和建设取得了很多成果,有的还列为国家重点教学改革项目。1998 年 12 月 24 日教育部发布了“面向 21 世纪教育振兴行动计划”,提出“积极发展高等职业教育”。我国的高等职业教育进入了高速发展阶段,这一新形势向我们提出了新的更高的要求。认真总结应用型高职、高专的教学教改经验,制定一套适合当前改革、发展要求的应用型高等教育(含高等职业教育)的计划、大纲和教材就成了当务之急,基于这样一个认识,我们组织十余所学校的教师进行研讨,并组织编写了这套 21 世纪高职、高专计算机类教材。

2. 编写原则

高职、高专有自身特色,正如“振兴计划”中指出的:“高等职业教育必须面向地区经济建设和社会发展,适应就业市场的实际需要,培养生产、服务、管理第一线需要的实用人才,真正办出特色。”培养符合国家建设需要的高素质的应用型人才是高职、高专发展的根本目的。在这套教材的编写中,我们遵循“适用、实用、会用、通用”的原则,避免低水平重复。

“适用”就是要讲述符合目前行业要求的新知识、新技术、新方法。由于计算机技术始终处于高速发展中,如果只讲那些已经“十分成熟”的技术,到学生毕业后,这些技术可能已经过时了。这样培养出来的学生,不能适应职业岗位的需要。因此,本套教材在选材上,即注意讲透基本理论,也注意讲解新技能,具有一定的前瞻性。

“实用”就是要重点讲述计算机行业最广泛应用的知识、方法和技能。使学生能胜任岗位工作,切实符合社会需要。

“会用”是培养学生在具备一定理论基础的前提下,注重动手能力和操作技能的培养,能够用自己所学的知识解决在工作中遇到的具体问题。

“通用”是指本套教材不仅限于高等职业教育,对于应用型高等院校,如技术学院、技术师范学院、职业大学等也是对口的教材。

3. 编写情况

本套教材的作者都是多年从事应用型高等教育和高等职业教育的教师,他们对应用型高等教育的现实问题、学生的学习情况、学生就业后面临的岗位要求等都有深入的了解。在本

套教材编写过程中，我们反复研讨并得到了许多学校领导和教师的大力支持，其中许多章节都是在优秀教案、讲义的基础上改写而成的，吸收了计算机试点专业的教改经验，并由主编全文统稿。我们组织专家认真审阅和把关，以确保质量。今后我们将根据这十余所学校的使用情况，认真听取读者的意见，不断修订、补充和完善，以跟上计算机行业发展的步伐。

4. 适用学校和专业

本套教材除特别适合高等职业学校计算机类专业（包括“计算机应用”、“计算机网络”、“信息管理”、“计算机科学教育”、“会计电算化”等）使用外，也可供其他应用型高等专科学校使用。对那些迫切需要提高自己应用技能的读者，本套教材可作为自学读物。

21 世纪高职、高专计算机类教材编委会

前 言



高等职业教育是我国高等教育的一个重要组成部分,近年来得到长足的发展。探索高等职业教育领域中计算机学科的教材体系和课程改革是计算机教育工作者的一项重要课题。

在近 30 年教学实践的基础上,结合当前微型计算机软/硬件新技术的发展趋势及高等职业教育的特殊要求,作者于 2000 年首次尝试将传统教学计划中的两门主干课程《汇编语言程序设计》和《微型计算机原理与接口》整合成一门课程——《汇编语言与微机原理教程》。教材(第 1 版)力求从微型计算机整机系统的角度,以适用性、实用性为出发点,寻求软件和硬件的紧密统一、理论和实践的有机结合、知识与技能的合理交融、深度与广度的科学协调。2003 年出第 2 版时,曾对教材作了大量修改,使其内容更加贴近实际、重点突出、深入浅出、文字流畅。

第 3 版在保持原有篇幅的基础上,删去了第 2 版中许多与现代微机系统关联度较低的传统内容,增加了 Pentium 系列的全部指令系统,以及新的 CPU、存储技术、接口、总线和外设等内容。

本书教学的参考学时为 80 学时(含上机),其中课堂授课不多于 60 学时。若侧重程序设计,则参考学时为 60 学时(含上机),其中,第 1~7 章 35 学时,第 8~13 章选讲 25 学时。若侧重原理,则参考学时为 60 学时(含上机),其中,第 1~7 章选讲 20 学时,第 8~13 章 40 学时。

本书第 1、2 版由顾元刚任主编,韩雁任副主编。顾元刚编写第 1、4 章和附录;顾元刚、龚金晔、张文斌合作编写第 2、3、5 章;刘昊编写第 6、7 章;王焯编写第 8 章;韩雁编写第 9、10 章;徐煜明编写第 11、12 章;俞桢编写第 13 章。全文由顾元刚统稿,并对其他章节作了多处修改。

本书第 3 版由顾元刚任主编,韩雁任副主编。顾元刚修改了第 1~4 章、第 11、12 章和附录;顾春霞修改了第 5~7 章;汤建龙修改了第 8、13 章,并调试了全部程序;陈立平修改了第 9~10 章。全文仍由顾元刚统稿,易顺明主审。

本书适用于高等职业院校以及大学本科各类相关专业的全日制和成人教学,亦可作为广大科技工作者的自学和参考资料。

由于编者水平有限,本书难免存在不少问题,恳切希望大家批评指正。

编 者
2007 年 12 月



目 录



第 1 章 微型计算机概述	1
1.1 微型计算机的发展概况	1
1.1.1 微处理器和微型计算机的发展	2
1.1.2 80X86 微处理器的性能与特点	3
1.2 微型计算机的特点与主要技术指标	6
1.2.1 微型计算机的特点	6
1.2.2 微型计算机的主要性能指标	7
习题 1	8
第 2 章 微型计算机基础	9
2.1 计算机中信息的表示和运算	9
2.1.1 进位计数制	9
2.1.2 进位计数制之间数的转换	10
2.1.3 定点数和浮点数	15
2.1.4 原码、反码和补码	17
2.1.5 BCD 码	20
2.1.6 字符和汉字的编码	21
2.2 基本逻辑运算	22
2.2.1 “与”运算 (AND)	22
2.2.2 “或”运算 (OR)	22
2.2.3 “非”运算 (NOT)	22
2.2.4 “异或”运算 (XOR)	22
2.3 80X86 微型计算机系统概述	23
2.3.1 微型计算机系统概述	23
2.3.2 8086/8088 CPU 功能结构	25
2.3.3 内部存储器概述	28
习题 2	30
第 3 章 8086 微机机器语言指令	31
3.1 寻址方式	31
3.1.1 操作数的种类	31
3.1.2 8086/8088 的寻址方式	32
3.2 指令系统	36

3.3	8086 微型计算机的常用指令	38
3.3.1	数据传送指令	38
3.3.2	算术运算指令	42
3.3.3	逻辑运算和移位指令	49
3.3.4	处理器控制指令	51
习题 3		52
第 4 章	汇编语言程序	55
4.1	汇编语言	55
4.1.1	定义	55
4.1.2	分类	55
4.1.3	宏汇编语言	56
4.2	80X86 汇编语言语句	56
4.2.1	语句的种类	56
4.2.2	语句的格式	56
4.3	汇编语言数据	57
4.3.1	常量	57
4.3.2	变量	58
4.3.3	标号	58
4.3.4	表达式	59
4.4	汇编语言伪指令	63
4.4.1	变量定义和数据预置伪指令	63
4.4.2	符号定义伪指令	65
4.4.3	段定义伪指令	66
4.4.4	程序开始与结束伪指令	69
4.4.5	对准伪指令	70
4.4.6	其他伪指令	71
4.5	汇编语言源程序的结构	72
4.6	上机操作过程	74
4.6.1	软件环境	74
4.6.2	源程序的汇编	74
4.6.3	装配连接目的程序	75
4.6.4	程序的执行与调试	76
习题 4		76
第 5 章	汇编语言程序设计	79
5.1	顺序结构程序设计	80
5.2	分支结构程序设计	81
5.2.1	概述	81

5.2.2 转移指令	82
5.2.3 程序设计	85
5.3 循环结构程序设计	92
5.3.1 概述	92
5.3.2 循环控制与串操作指令	94
5.3.3 程序设计	97
习题 5	103
第 6 章 子程序设计	105
6.1 子程序(过程)调用与返回指令	105
6.1.1 子程序调用指令 CALL	105
6.1.2 子程序返回指令 RET	106
6.2 子程序的设计方法	107
6.2.1 子程序的定义	107
6.2.2 子程序的调用和返回	108
6.2.3 寄存器的保存与恢复	108
6.3 子程序的参数传递	109
6.3.1 通过寄存器传递参数	109
6.3.2 用参数表传递参数	110
6.3.3 通过堆栈传递参数或参数地址	112
6.4 嵌套子程序	113
6.5 递归子程序	115
习题 6	117
第 7 章 高级汇编语言技术	118
7.1 宏汇编	118
7.1.1 宏的定义	118
7.1.2 宏调用和宏展开	119
7.1.3 宏定义和宏调用中的参数	120
7.1.4 宏定义中的标号和变量处理	122
7.1.5 取消宏定义伪指令 PURGE	122
7.2 重复汇编	123
7.2.1 定重复汇编伪指令	123
7.2.2 不定重复伪指令	123
7.3 条件汇编	124
7.4 宏库	126
7.4.1 宏库的建立	126
7.4.2 宏库的使用	126
7.5 结构与记录	127

7.5.1 结构	127
7.5.2 记录	130
习题 7	133
第 8 章 80X86 CPU	134
8.1 8086/8088 CPU	134
8.1.1 8086/8088 引脚信号	135
8.1.2 8086/8088 操作和时序	140
8.2 80486 CPU	144
8.2.1 80486 功能结构	144
8.2.2 80486 引脚信号	147
8.2.3 80486 的工作方式	151
8.2.4 80486 内部寄存器	153
8.2.5 80486 指令系统	156
8.3 Pentium 系列 CPU	158
8.3.1 Pentium CPU	159
8.3.2 从 Pentium II 到 Pentium 4	162
8.3.3 新型微处理器 IA-64	163
习题 8	164
第 9 章 半导体存储器	165
9.1 概述	165
9.1.1 存储器的分类	165
9.1.2 存储器的主要性能指标	167
9.2 主存储器及接口	167
9.2.1 主存储器的基本组成	167
9.2.2 半导体存储器的分类	169
9.2.3 存储器与 CPU 的接口	176
9.3 高速缓存系统	181
9.3.1 Cache 的结构	181
9.3.2 高速缓存数据的一致性	182
习题 9	183
第 10 章 输入/输出及中断系统	185
10.1 I/O 接口概述	185
10.1.1 I/O 接口的硬件分类	185
10.1.2 I/O 接口的功能及结构	186
10.1.3 I/O 接口的端口寻址	188
10.1.4 I/O 控制方式	190
10.2 中断原理	195

10.2.1	80X86 中断的类型	195
10.2.2	中断的优先级	197
10.2.3	中断响应和中断处理	200
10.3	8259A 中断控制器	203
10.3.1	8259A 中断控制器的功能结构及外形	203
10.3.2	8259A 的中断工作过程	205
10.3.3	8259A 中断控制器的编程	205
10.3.4	高级中断控制器	213
10.4	中断应用	214
10.4.1	BIOS 和 DOS 中断调用	214
10.4.2	系统中断调用及应用实例	217
习题 10		219
第 11 章 总线		221
11.1	概述	221
11.1.1	总线概念	221
11.1.2	总线标准	222
11.1.3	信息在总线上的传送方式	223
11.1.4	总线仲裁	223
11.1.5	总线通信协议	225
11.1.6	总线的负载能力	226
11.2	系统总线和局部总线	226
11.2.1	ISA 总线	226
11.2.2	EISA 总线	229
11.2.3	VESA 总线	229
11.2.4	PCI 总线	229
11.2.5	AGP	231
11.3	外部通信总线	232
11.3.1	RS-232C 串行通信总线	232
11.3.2	RS-449 与 RS-423/422A/485 接口	234
11.3.3	通用串行总线 USB	236
11.3.4	IEEE 1394	238
习题 11		239
第 12 章 可编程接口芯片及应用		240
12.1	串行接口芯片 8251A 及应用	240
12.1.1	串行通信概述	240
12.1.2	可编程通信接口 8251A	245
12.2	并行接口芯片 8255A 及应用	252

12.2.1	8255A 的结构与引脚	253
12.2.2	8255A 的工作方式	255
12.2.3	8255A 的应用举例	260
12.3	定时器/计数器接口芯片 8253 应用	263
12.3.1	8253 的结构与引脚功能	263
12.3.2	8253 的工作方式与初始化	265
12.3.3	定时器/计数器应用举例	269
习题 12		277
第 13 章 常规外设子系统		279
13.1	键盘	279
13.1.1	键盘的工作原理	279
13.1.2	键盘控制器	282
13.1.3	键盘中断	283
13.2	视频子系统	284
13.2.1	显示器的结构与工作原理	284
13.2.2	显卡	288
13.2.3	字符和图形程序设计	293
13.3	打印机	299
13.3.1	并行接口	299
13.3.2	字符打印子程序	301
13.4	辅助存储器子系统	301
13.4.1	软盘	302
13.4.2	硬盘	305
13.4.3	CD-ROM 光盘	310
13.4.4	U 盘	313
13.4.5	文件操作程序设计	313
习题 13		319
附录 A ASCII 码表		320
附录 B 8066/8088 指令系统		321
附录 C 中断向量地址表		329
附录 D BIOS 功能调用		330
附录 E DOS 功能调用		335
附录 F 调试程序 DEBUG		340
附录 G 汇编错误信息		344
参考文献		350

第1章 微型计算机概述



本章要求

- 了解计算机和微型计算机的基本概念
- 了解微处理器和微型计算机的发展
- 掌握微型计算机的特点和性能指标

电子计算机是由各种电子器件组成的能够自动、高速、精确地进行逻辑控制和信息处理的现代化设备。它是 20 世纪人类最伟大的发明之一。自 20 世纪 40 年代第一台电子计算机问世以来,以构成计算机硬件的逻辑部件为标志,已经历了从电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模及超大规模集成电路计算机 4 个阶段。随着大规模集成电路的发展,计算机分别朝着大型机/巨型机和超小型机/微型机两个方面发展。

目前,微型计算机已广泛应用于工业、农业、国防、科研、教育、交通、通信、商业乃至家庭日常生活等各个领域。从航空航天到海洋开发、从天气预报到地震勘测、从医疗诊断到生物工程、从电子购物到儿童玩具、从情报检索到远程教育、从产品设计到生产过程控制,到处都有微型计算机的应用。

微型计算机的应用之所以发展得如此迅速,一个重要原因是其性能/价格比在各类计算机中处于优势地位。微型计算机以物美价廉、可靠性高、维护方便、小巧灵活而深受人们的欢迎。

本章主要介绍微型计算机的基本概念、发展、性能和特点。

1.1 微型计算机的发展概况

微型计算机是伴随着大规模集成电路的发展而诞生和发展的。微型计算机在系统结构和基本工作原理上与其他计算机(巨型、大型、中小型计算机)没有本质差别,所不同的是微型计算机采用了集成度相当高的器件和部件,其核心部分是微处理器。微处理器是指一片或几片大规模集成电路组成的具有运算器和控制器功能的中央处理器(CPU)。以微处理器为核心的微型计算机是计算机的第四代产品。

以微处理器为核心,配上大容量的半导体存储器及功能强大的可编程接口芯片,连上外部设备(包括键盘、显示器、打印机和磁盘、光盘等外部存储器)及电源所组成的计算机,称做微型计算机,简称 μC 或MC(Micro Computer)。微型计算机加上系统软件,构成微型计算机系统(MCS)。

微型计算机的最小配置为单片机,是在一个芯片上封装了CPU、存储器和接口电路。另一种较小的配置为单板机,是在一块印制电路板上安装了组成微型计算机要素的各个部件。

1.1.1 微处理器和微型计算机的发展

微型计算机主要随着微处理器的发展而升级换代, 而微处理器的发展通常以字长和功能为主要指标, 至今可以划分为 5 个时期。

1. 第一时期 (1971—1973): 4 位或 8 位低档微处理器和微型计算机

1971 年, Intel 公司发布 4004CPU, 它是一种 4 位微处理器, 其运算速度为 50KIPS (千指令/秒), 指令周期为 $20\mu\text{s}$, 时钟频率为 1MHz, 集成度约在 2000 管/片。寻址能力为 4KB, 有 45 条指令。另一种 4 位微处理器是 4040。同年, 出现了 4004 的低档 8 位扩展型产品 8008, 其寻址能力为 16KB, 有 48 条指令。

这一时期的代表机型是 MCS-4 和 MCS-8。

2. 第二时期 (1973—1977): 8 位中高档微处理器和微型计算机

1973 年, Intel 发布 8 位中档微处理器 8080, 其运算速度约 500KIPS, 指令周期为 $2\mu\text{s}$, 寻址空间为 64KB。同期, Motorola 公司的 MC6800 与 8080 相当。Zilog 公司的 Z80 和 Intel 公司 1977 年发布的最后一款 8 位微处理器 8085 属于 8 位高档微处理器。8085 的运算速度为 770KIPS, 指令周期为 $1.3\mu\text{s}$ 。

在这一时期, 出现了以 8080A/8085A、Z80 和 MC6502 为 CPU 组装成的微型计算机。其中, 基于 8080CPU 的第一台个人电脑 Altair 8800 在 1974 年问世, 而以 MC6502 为 CPU 的 Apple- II 具有很大的影响。这些个人电脑普遍采用了汇编语言、高级语言 (如 BASIC、FORTRAN、PL/I 等), 其中 Altair 8800 机的 BASIC 解释程序就是由 Bill Gates 开发的。后期配上了操作系统 (如 CP/M、Apple- II DOS 等), 从而使微型计算机开始配上磁盘和各种外设。

3. 第三时期 (1978—1984): 16 位微处理器和微型计算机

1978 年以后, 出现了 16 位微处理器, 代表产品如 Intel 公司的 8086 (集成度 29000 管/片)、80881、80286, Motorola 公司的 MC68000 (集成度 68000 管/片) 和 Zilog 公司的 Z8000 (集成度 17500 管/片) 等。

8086/8088 扩大了存储容量并增加了指令功能 (如乘法和除法指令)。其归类指令有 133 条、分解可达 20000 多条, 被称做 CISC (Complex Instructions Set Computer) 处理器。8086/8088 还增加了内部寄存器, 使用 8086/8088 指令集更容易编写高效和复杂的软件。

用 16 位微处理器组装的微型计算机 (如 IBM PC、PC/XT、PC/AT、AST286、COMPAQ286) 在功能上已达到和超过了低档小型机 PDP-11/45。

4. 第四时期 (1985—1991): 32 位微处理器和微型计算机

1986 年, Intel 公司推出 80386CPU, Motorola 同期相继发表 MC68020~68050 四款 32 位微处理器。1989 年 Intel 公司又推出 80486 微处理器, 其主要性能为 80386 的 2~4 倍。

这一时期主要微型计算机产品有 IBM-PS II/80、AST386、COMPAQ386 等。这些 PC 配用了具有图形界面的 Windows 操作系统, 可执行多任务操作, 其性能已赶上 20 世纪 70 年代初的超级小型机。

5. 第五时期（1992—）：高档 32 /64 位微处理器和微型计算机

1992 年后出现了数据总线为 64 位的微处理器和高档微型计算机。1993 年 Intel 公司推出首款 Pentium（代号 P5、俗称 586）微处理器。P5 在性能上已达到了中高档 RISC（Reduced Instruction Set Computer）处理器水平。其他典型产品还有 MC68060、AMD 的 K5、Cyrrix 的 M5 和 IBM 公司 power PC。后来 Intel 公司又推出 Pentium MMX CPU（多能奔腾），使计算机在执行通信、音频、图形图像处理功能时，性能得到改善。

最近 15 年，微处理器和 PC 又有了许多新的发展，在微处理器方面 Intel 公司先后发表 Pentium pro（高能奔腾、P6）和 Pentium II，P7 和 Pentium III。2000 年出品 Pentium 4。2002 年后又相继推出安腾、酷睿等系列产品。与此同时，AMD 公司相应推出 K6、K6 II、K6 III、Thunderbird（雷鸟）和 Athlon（K7）（速龙）、Opteron（皓龙）、Duron（毒龙）、Sempron（闪龙）等系列产品。从 2005 年开始出现了双核和 4 核 CPU。2007 年 AMD 公司又将发布集处理处、图形芯片、芯片组为一体的图形芯片 Radeon HD 2000。这些产品在微处理器发展史上构筑了一个又一个新的里程碑。

早在 1993 年底，世界上主要微型计算机生产厂都有自己的 586 微型计算机系列和其他高端微机系列，其更新产品主要定位在笔记本电脑、企业服务平台、多媒体和网络文件服务器上。当前，随着 IA-64 CPU 的出现，以最新 CPU 为核心的高档微型计算机在 3D 图形显示、语音识别和视频信号处理等方面的性能达到了一个新的水准。

1.1.2 80X86 微处理器的性能与特点

在微处理器的发展史上，Intel 公司的微处理器处于主导地位。Intel 推出的首款 16 位微处理器以数字 8086 命名，其后依次推出 8088、80186、80188、80288，之后采用 i386、i486（俗称 80386、80486）命名，因而被业界称为 X86 架构。i486 以后，Intel 不再以 X86 命名，而以 IA（Intel Architecture）指称其架构，称 Intel 产 32 位微处理器为 IA-32、64 位微处理器为 IA-64。为此，有必要对 80X86 和 Pentium 微处理器的性能与特点作系统的简介。

1. 8086/8088

标准 16 位微处理器 8086 是 80X86 微处理器系列的第一个成员，其基本性能见表 1.1。8086 的内外部数据总线均为 16 位，地址总线为 20 位，因此，直接寻址空间达 1MB。8086 主要由执行部件 EU 和总线控制部分 BIU 组成。8086 的外形为 40 脚芯片，工作频率为 4~8MHz、运算速度约为 2.5MIPS（1M=1000K），指令周期为 0.4μs。

8088 是准 16 位微处理器，其内部数据总线为 16 位，外部数据总线为 8 位。

8086/8088 指令系统构筑了 Intel CPU 发展的基础，所有后继的 IA-32 CPU 都兼容该指令系统，成就了 Intel 公司 30 多年经久不衰的伟业。

2. 80286

80286 是超级 16 位微处理器，其地址总线为 24 位，直接寻址空间为 16MB，运算速度约为 4.0MIPS，工作频率为 6~20MHz。它由执行部件 EU、地址部件 AU、总线部件 BU、指令部件 IU 四部分组成。80286 采用流水线工作方式，并行操作，使大多数指令的执行速度比 8086 快 8 倍。

80286 具有实地址和受保护的虚拟地址两种管理方式。在实地址方式下，目标代码和

8086/8088 兼容, 使用 20 条地址线, 仅 1MB 的寻址空间, 它的物理地址即是逻辑地址。在保护方式下, 80286 具有多用户和多任务的处理能力, 其实际存储空间扩大为 16MB 字节, 并为每个用户提供 1GB 的虚拟存储空间, CPU 可将获得的虚拟地址自动转换到 16MB 的物理地址。在保护方式下, 80286 与 8086/8088 的源代码兼容。

8086/8088 和 80286 奠定了 IA-32 架构的基础。

3. 80386

80386 是 IA-32 微处理器, 有 SX、SL、SLC、EX 和 DX 多种产品。其中, 只有 80386DX 是标准的 32 位 (其余均是准 32 位) 微处理器, 其内外部数据总线和地址总线均为 32 位, 寻址能力可达 4GB, 运算速度约为 5.0MIPS, 工作频率为 16~50MHz。其余 4 种产品的数据总线均为 16 位, SX 的地址总线为 24 条、SL 和 SLC 为 25 条、EX 为 26 条, 寻址能力分别为 16MB、32MB、32MB+8KB Cache 和 64MB。

80386 内部由 6 部分组成: 执行部件、总线接口部件、指令译码部件、预取部件、分段部件、分页部件。所以, 可实现段式、页式或段页式管理, 这是 80386 突出的一个特点。80386 兼容 8086、80286 的目标代码, 同时增加了用于访问 32 位寄存器和管理存储器的指令。

80386 具有实地址方式, 受保护的虚地址方式和虚拟 8086 方式 3 种存储管理方式。使用虚拟 8086 方式能模拟多个 8086 处理器。

4. 80486

80486 是将 80386CPU、80387 和 8KB Cache 合并入一个集成块中, 因而, 其基本部件增加了高速缓冲部件、浮点处理部件, 合计有 8 个部件。它是标准的 32 位微处理器, 有 SX、DX、DX2、DX4 等产品。这些产品的数据总线和寻址能力相同, 差别在于时钟频率由 33MHz 到 100MHz 不等。高速的 80486DX4 完成整数操作几乎和 60MHz 的 Pentium 一样快。

80486 兼容 80386 指令, 与 80386 一样具有实方式、保护方式和虚拟 8086 三种存储管理方式。80486 可以模拟多个 80286, 实现多层次的多任务功能, 而 80386 只能模拟多个 8086, 实现多任务功能。

80486 采用 RISC 技术, 使之能在一个时钟周期执行一条指令, 而 80486 以前采用的是 CISC 技术, 每条指令的执行时间约在两个时钟周期以上。

5. Pentium (P5) 和 P55C

Pentium 的内部数据总线为 32 位, 外部数据总线为 64 位, 地址总线为 36 位, 属 IA-32 微处理器。其工作频率为 60~200MHz、采用 0.35 μ m 工艺制造、集成度为 310~330 万管/片。工作频率为 60MHz、66MHz 的 Pentium 称 P5, 75~200MHz 的称 P54C。而 P55C 是带有多媒体扩展结构的奔腾级芯片, 故又称多能奔腾 (Pentium MMX), 工作频率为 166MHz、200MHz、233MHz 等, 集成度达成 450 万管/片。

P5 在 80486 的基础上增加了 7 条指令。而 Pentium MMX 又在 P5 基础上增加了 57 条多媒体 (MMX) 指令集, 专用于音频、视频、图形图像处理。

6. Pentium Pro 和 Pentium II

Pentium Pro 又称 P6、80686 或高能奔腾。P6 主频为 66MHz, 能支持 ($\times 2$ 、 $\times 2.5$ 、 $\times 3$ 、

×4) 倍频, 采用 $0.35\mu\text{m}$ 制造工艺, 集成 550 万个晶体管, 在设计上采用 3 路 (P5 为 2 路) 超标量体系结构, 387 针 PGA 封装, Socket 8 架构, 内存提高可达 4GB。

Pentium II 处理器是具有 MMX 技术的 P6, 有 Klamath、Deschutes 2 个代号。Klamath 的外频为 66MHz, 主频有 233MHz、266MHz、300MHz 3 种, 采用 $0.35\mu\text{m}$ 制造工艺。Deschutes 也有一种 66MHz 的外频, 其主频为 300MHz 和 333MHz, 还有支持 100MHz 甚至 150MHz 外频的, 其主频有 350MHz、400MHz、450MHz 3 种。其制造工艺为 $0.25\mu\text{m}$ 。内置了一级高速缓存双 16KB Cache (其中 16KB 供数据用, 16KB 供指令用), 速度是 P6 处理器的两倍。主频为 300MHz 的 Pentium II 使用了一种称为单边接触 (Single Edge Contact) 的新技术, 这一技术是将 512KB~2MB 不等 L2 (二级高速缓存) 移出 CPU, 但又与 CPU 封装在同一塑料盒内, 中间用 Cache 总线相连接, 共使用 242 个引脚。

Pentium II 还采用了单指令多数据 (SIMD)、双重独立总线 (Dual Independent Bus Technology) 等的一些新技术来加快数据传送速度。

7. Pentium III

1999 年 1 月发布的 Pentium III, 首款 Katmai 主频 450MHz, 后继产品为 500MHz, 采用 Slot 1 架构, $0.25\mu\text{m}$ 制造工艺, 集成了 950 万个晶体管, 拥有 32KB 一级缓存和 512KB 二级缓存 (运行速度是主频的 1/2), 总线频率为 100MHz。

1999 年 10 月, Intel 推出了代号为 Coppermine 的基于 $0.18\mu\text{m}$ 工艺制造的 Pentium III。Coppermine 的主频为 733MHz, 二级缓存为 256KB (运行速度与主频相当)。虽然减少了二级缓存, 但随着时钟速度和二级缓存速度的提高, 性能比前两款 Pentium III 仍有显著提高。

Pentium III 指令集除向上兼容外, 还新增了 SSE (Streaming SIMD Extensions), 即数据流单指令多数据扩展的 70 条多媒体指令。

8. Pentium 4

Pentium 4 发布于 2000 年 11 月, 是第一种采用全新架构 NetBurst (其性能特点详见第 8 章) 的 IA-32 微处理器。其原始代号为 Willamette, 集成 3400 万个晶体管, 主频为 1.5GHz, 系统总线频率为 100MHz, 工作电压为 1.7V, 采用 $0.18\mu\text{m}$ 制造工艺, 423 针 PGA 封装, Socket 423 架构。

代号为 Northwood 的主频为 1.5~2.2GHz 不等, 集成 4200 万个晶体管, 采用 $0.13\mu\text{m}$ 制造工艺, 478 针 μPGA 封装, Socket 478 架构。

代号为 P4EE (P4 Extreme Edition) 的 Pentium 4 是在 Xeon 的基础上推出的, 具有 3 级缓存 (L1 8KB、L2 512KB、L3 2MB), 工作电压为 1.55V, 采用 $0.13\mu\text{m}$ 制造工艺。

上述 Pentium 4 向上兼容, 并增加了有 144 新指令组成的 SSE2 指令集。

基于 Prescott 为核心的 Pentium 4 发布于 2004 年 2 月, 主频范围为 2.8~3.4GHz, 工作电压为 1.4V, 采用 $0.09\mu\text{m}$ 制造工艺, 有 L1 Cache 16KB、L2 Cache 1MB, 能同时处理 252 个微操作, 支持增加了有 13 条新指令的 SSE3 指令集。

从 Pentium II~Pentium 4, 为满足不同的需求 Intel 公司对应的生产了价廉的低端产品 Celeron (赛扬) 和专用于服务器的高端产品 Xeon (至强) CPU。

综上所述, 为便于比较 Intel 80X86 CPU 的基本特征、了解其发展演变, 现将各处理器的主要性能列于表 1.1 中。