



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

主 编 何 宏  
副 主 编 龚 威  
刘 源  
赵 杰

# 微型计算机原理与 接口技术



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 微型计算机原理 与接口技术

|       |     |
|-------|-----|
| 主 编   | 何 宏 |
| 副 主 编 | 龚 威 |
|       | 刘 源 |
|       | 赵 杰 |

 天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是根据高等理工科院校计算机、电子通信工程、自动化、机电一体化等专业的“微型计算机原理与接口技术”的教学大纲编写的。本书以 Intel 80X86 微处理器为主要对象,从应用角度系统地介绍了微型计算机的基本原理和接口技术。全书共分 10 章,主要包括计算机基础、微处理器结构及系统、Intel 80X86 寻址方式和指令系统、汇编语言程序设计、半导体存储器、中断处理技术、输入输出接口、定时计数技术、并行/串行通信、数/模和模/数转换器。

该书选材新颖,内容系统,结构清晰,概念准确,通俗易懂。可作为高等理工科院校本科生的教材,也适合高职、高专及高自考人员使用,还可供广大科技人员自学参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理与接口技术/何宏主编. —天津:天津大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5618-2415-3

I.微... II.何... III.①微型计算机—理论 ②微型计算机—接口 IV.TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 010719 号

出版发行 天津大学出版社  
出 版 人 杨欢  
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)  
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742  
网 址 www.tjup.com  
短信网址 发送“天大”至 916088  
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司  
经 销 全国各地新华书店  
开 本 185mm×260mm  
印 张 21.25  
字 数 521 千  
版 次 2007 年 3 月第 1 版  
印 次 2007 年 3 月第 1 次  
印 数 1—4 000  
定 价 29.80 元

# 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,作为高等院校计算机、电子通信工程、自动化、机电一体化等专业及其他各工科类专业的本科生学习微型计算机原理与接口技术必修课程的通用教材。本教材适用面广,也可作为大中专院校和高职、高专相关专业的教材,还可作为计算机(偏硬技术)等级考试的培训教材以及供从事微机系统设计和应用的技术人员自学和参考。

Intel 80X86/Pentium 系列 CPU 微型计算机系统无论是在国际还是在国内都是最具代表性的主流机型。本书本着“系统性、新颖性、科学性、实用性”的原则,以 Intel 80X86/Pentium 系列 CPU 微型计算机为主要对象,详细、系统地介绍了微型计算机的基本原理和接口技术,主要内容包括 Intel 80X86/Pentium 系列 CPU 的微处理器、寻址方式和指令系统、汇编语言程序设计、半导体存储器、中断处理技术、输入输出接口、定时计数技术、并行/串行通信、数/模和模/数转换器。每章配有例题和习题。全书结构紧凑,层次分明,并力求语言简单明了、通俗易懂。本书主要特点如下。

1. 例题丰富、重点突出、难点分散、形式多样。本书以面向应用为主,在例题、接口电路等的选择上,尽量考虑与实际工程应用相结合,插入了大量的电路连接图、结构图、时序图和详细的分析说明。

2. 注重基础性、系统性和新颖性。编者结合多年的教学实践,力求在微机的软、硬件技术结合上做到循序渐进、深入浅出地阐述工作原理与实际应用,并用一定篇幅介绍了 Intel80X86/Pentium 系列 CPU 微型计算机系统的最新发展趋势和接口新技术。

3. 由浅入深、通俗易懂。对所举全部实例都有详细的分析和注释。例如本书在汇编语言程序设计部分,通过对每段程序添加详细解释,使读者能够较为容易地理解和掌握汇编语言程序设计的思想。在介绍每一种接口的基本原理和工作方式的基础上,以大量的应用实例分析说明应用技术的要点,并通过加强习题练习、实验环节和课程综合设计项目的实践教学,使学生在牢固掌握微机原理的基础上,具有一定的微机接口设计能力和较强的接口系统应用能力。

本书由何宏教授主编,龚威、刘源、赵杰副主编,参加本书编写工作的人员还有王云、刘瑞安、林桦、李猛、李莲、李鹏海、冷建伟、李玉森、王娟、李季、李荭娜、宋殿友、丁茹等。在本书编写过程中得到了陈希明、张秋燕等同志的大力支持和帮助,在此一并向他们表示衷心感谢。

由于计算机技术的发展日新月异,新技术层出不穷,加之时间仓促,编者水平有限,错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

何宏

2007 年 1 月于天津理工大学

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 计算机基础</b> .....              | 1  |
| 1.1 概述 .....                          | 1  |
| 1.1.1 第一代微处理器(4 位或 8 位) .....         | 1  |
| 1.1.2 第二代微处理器(8 位) .....              | 2  |
| 1.1.3 第三代微处理器(16 位) .....             | 2  |
| 1.1.4 第四代高档微处理器(32 位) .....           | 3  |
| 1.1.5 第五代高档微处理器(64 位) .....           | 3  |
| 1.1.6 第六代 Pentium 微处理器(64 位) .....    | 4  |
| 1.2 计算机中数据的表示 .....                   | 5  |
| 1.2.1 计算机中的数制 .....                   | 5  |
| 1.2.2 计算机中数据的表示方法 .....               | 9  |
| 1.2.3 计算机中非数值数据信息表示 .....             | 14 |
| 1.3 微型计算机系统 .....                     | 17 |
| 1.3.1 硬件系统 .....                      | 17 |
| 1.3.2 微处理器的内总线结构 .....                | 19 |
| 1.3.3 引脚的功能复用 .....                   | 20 |
| 1.3.4 流水线技术 .....                     | 21 |
| 1.3.5 软件系统 .....                      | 22 |
| 思考题与习题 .....                          | 22 |
| <b>第 2 章 80X86/Pentium 微处理器</b> ..... | 24 |
| 2.1 8086 微处理器 .....                   | 24 |
| 2.1.1 8086 CPU 结构与特点 .....            | 24 |
| 2.1.2 8086 的工作模式和引脚特性 .....           | 30 |
| 2.1.3 8086 的总线操作和时序 .....             | 33 |
| 2.1.4 8086 CPU 系统结构 .....             | 36 |
| 2.2 80X86/Pentium 高档微处理器 .....        | 41 |
| 2.2.1 80286 微处理器 .....                | 42 |
| 2.2.2 80386 微处理器 .....                | 46 |
| 2.2.3 80486 微处理器 .....                | 53 |
| 2.2.4 Pentium 微处理器 .....              | 54 |
| 思考题与习题 .....                          | 56 |
| <b>第 3 章 80X86/Pentium 指令系统</b> ..... | 57 |
| 3.1 8086/8088 CPU 指令系统 .....          | 57 |
| 3.1.1 寻址方式 .....                      | 57 |
| 3.1.2 指令系统 .....                      | 62 |
| 3.2 80X86/Pentium 指令系统 .....          | 98 |

|              |                            |            |
|--------------|----------------------------|------------|
| 3.2.1        | 80286 增强与增加的指令 .....       | 98         |
| 3.2.2        | 80386、80486 增强与增加的指令 ..... | 101        |
| 3.2.3        | Pentium 系列处理器增加的指令 .....   | 106        |
|              | 思考题与习题 .....               | 107        |
| <b>第 4 章</b> | <b>汇编语言程序设计 .....</b>      | <b>113</b> |
| 4.1          | 概述 .....                   | 113        |
| 4.2          | 汇编语言源程序的程序结构 .....         | 114        |
| 4.2.1        | 汇编语言源程序结构特点 .....          | 115        |
| 4.2.2        | 源程序与 PC DOS 的接口 .....      | 116        |
| 4.3          | 汇编语言的语句 .....              | 117        |
| 4.3.1        | 语句的种类 .....                | 117        |
| 4.3.2        | 语句格式 .....                 | 118        |
| 4.3.3        | 语句中的操作数 .....              | 118        |
| 4.4          | 汇编语言的伪指令语句 .....           | 124        |
| 4.4.1        | 基本伪指令语句 .....              | 125        |
| 4.4.2        | 80X86/Pentium 扩展伪指令 .....  | 135        |
| 4.5          | 汇编语言程序设计基础 .....           | 141        |
| 4.5.1        | 概述 .....                   | 141        |
| 4.5.2        | 程序的基本结构 .....              | 142        |
| 4.5.3        | 程序设计基本方法 .....             | 143        |
| 4.5.4        | 子程序设计与调用技术 .....           | 152        |
| 4.6          | 模块化程序设计技术 .....            | 161        |
| 4.6.1        | 概述 .....                   | 161        |
| 4.6.2        | 程序中模块间的关系 .....            | 162        |
| 4.6.3        | 模块化程序设计举例 .....            | 164        |
| 4.7          | 实用程序设计举例 .....             | 168        |
|              | 思考题与习题 .....               | 176        |
| <b>第 5 章</b> | <b>存储器 .....</b>           | <b>181</b> |
| 5.1          | 概述 .....                   | 181        |
| 5.1.1        | 存储器的分类 .....               | 181        |
| 5.1.2        | 存储器的基本结构 .....             | 183        |
| 5.1.3        | 主要技术指标 .....               | 184        |
| 5.2          | 随机存储器 .....                | 185        |
| 5.2.1        | 静态 RAM .....               | 185        |
| 5.2.2        | 动态 RAM .....               | 188        |
| 5.3          | 只读存储器 .....                | 190        |
| 5.3.1        | 掩膜 ROM .....               | 190        |
| 5.3.2        | 可编程 ROM .....              | 191        |
| 5.3.3        | 可擦除可编程 ROM .....           | 191        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 5.3.4 电可擦除可编程 ROM .....       | 193 |
| 5.4 半导体存储器与 CPU 的连接 .....     | 194 |
| 5.4.1 需要考虑的问题 .....           | 194 |
| 5.4.2 存储器容量扩充 .....           | 196 |
| 思考题与习题 .....                  | 200 |
| <b>第 6 章 微型计算机的中断系统</b> ..... | 201 |
| 6.1 中断系统 .....                | 201 |
| 6.1.1 中断的基本概念 .....           | 201 |
| 6.1.2 中断系统功能 .....            | 202 |
| 6.1.3 中断处理过程 .....            | 203 |
| 6.1.4 中断管理 .....              | 205 |
| 6.2 80X86 中断结构 .....          | 207 |
| 6.2.1 中断分类 .....              | 207 |
| 6.2.2 中断管理过程 .....            | 208 |
| 6.2.3 中断向量和中断向量表 .....        | 210 |
| 6.2.4 8086 的中断 .....          | 211 |
| 6.3 中断控制器 8259A .....         | 214 |
| 6.3.1 8259A 的功能 .....         | 214 |
| 6.3.2 8259A 的内部结构和引脚特性 .....  | 214 |
| 6.3.3 8259A 的工作方式 .....       | 217 |
| 6.3.4 8259A 的编程 .....         | 219 |
| 6.3.5 8259A 的级联 .....         | 226 |
| 思考题与习题 .....                  | 228 |
| <b>第 7 章 输入输出接口</b> .....     | 229 |
| 7.1 输入输出接口 .....              | 229 |
| 7.1.1 I/O 信息 .....            | 229 |
| 7.1.2 I/O 接口要解决的问题 .....      | 230 |
| 7.1.3 I/O 接口的功能 .....         | 230 |
| 7.1.4 I/O 端口的编址方法 .....       | 231 |
| 7.1.5 简单的 I/O 接口 .....        | 232 |
| 7.2 输入和输出的传送方式 .....          | 235 |
| 7.2.1 程序控制的输入和输出 .....        | 235 |
| 7.2.2 中断控制的输入和输出 .....        | 239 |
| 7.2.3 直接存储器存取(DMA)方式 .....    | 240 |
| 思考题与习题 .....                  | 241 |
| <b>第 8 章 定时计数技术</b> .....     | 242 |
| 8.1 概述 .....                  | 242 |
| 8.2 可编程定时/计数器 8253 .....      | 243 |
| 8.2.1 内部结构 .....              | 243 |



|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 8.2.2 引脚信号 .....                   | 244 |
| 8.2.3 8253 计数器的计数启动方式和计数结束方式 ..... | 245 |
| 8.2.4 8253 的方式控制字 .....            | 245 |
| 8.2.5 工作方式 .....                   | 247 |
| 8.3 定时/计数器应用实例 .....               | 252 |
| 8.3.1 8253 的编程逻辑 .....             | 252 |
| 8.3.2 8253 的实际应用 .....             | 252 |
| 思考题与习题 .....                       | 256 |
| <b>第 9 章 并行、串行(I/O)接口</b> .....    | 258 |
| 9.1 并行(I/O)接口 .....                | 258 |
| 9.1.1 并行接口的特点 .....                | 258 |
| 9.1.2 可编程并行接口芯片 8255A .....        | 258 |
| 9.2 8255A 应用举例 .....               | 266 |
| 9.3 键盘、显示器及其接口 .....               | 270 |
| 9.3.1 概述 .....                     | 270 |
| 9.3.2 键盘识别原理 .....                 | 270 |
| 9.3.3 LED 显示器及其接口 .....            | 275 |
| 9.4 串行接口和串行通信 .....                | 278 |
| 9.4.1 串行通信的基本概念 .....              | 278 |
| 9.4.2 串行接口 .....                   | 279 |
| 9.4.3 串行通信的三种方式 .....              | 280 |
| 9.4.4 串行数据传送方式 .....               | 280 |
| 9.4.5 信号的调制与解调 .....               | 282 |
| 9.4.6 RS—232C 串行通信标准 .....         | 283 |
| 9.5 可编程串行 I/O 接口 8251A .....       | 284 |
| 9.5.1 8251A 的基本工作原理 .....          | 284 |
| 9.5.2 8251A 的引脚特性 .....            | 286 |
| 9.5.3 8251A 的控制字和状态字 .....         | 288 |
| 9.5.4 8251A 的初始化编程 .....           | 290 |
| 9.5.5 8251A 的应用示例 .....            | 291 |
| 思考题与习题 .....                       | 293 |
| <b>第 10 章 数/模转换及模/数转换</b> .....    | 294 |
| 10.1 概述 .....                      | 294 |
| 10.2 数/模(D/A)转换原理 .....            | 295 |
| 10.2.1 D/A 转换的工作原理 .....           | 295 |
| 10.2.2 D/A 转换器的主要性能指标 .....        | 295 |
| 10.3 常用 D/A 转换芯片的使用 .....          | 296 |
| 10.3.1 8 位 DAC 芯片——DAC 0832 .....  | 296 |
| 10.3.2 12 位 DAC 芯片——AD567 .....    | 298 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 10.4 模/数(A/D)转换原理 .....        | 301 |
| 10.4.1 常用 A/D 转换方法 .....       | 301 |
| 10.4.2 A/D 转换器的主要技术参数 .....    | 302 |
| 10.5 常用 A/D 转换芯片的使用 .....      | 302 |
| 10.6 12 位 ADC 芯片——AD574 .....  | 305 |
| 思考题与习题 .....                   | 308 |
| 附录 I 指令系统表 .....               | 309 |
| 附录 II 指令对标志位的影响 .....          | 315 |
| 附录 III 中断向量地址表 .....           | 316 |
| 附录 IV DOS 功能调用表(INT 21H) ..... | 317 |
| 附录 V BIOS 中断调用表 .....          | 322 |
| 参考文献 .....                     | 327 |

# 第 1 章 计算机基础

## 1.1 概述

世界上第一台电子计算机诞生于 1946 年 2 月 15 日,它是由美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电机系莫克利(J. Mauchly)教授及其同事研制成功的 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer,电子数值积分和计算机)。ENIAC 采用十进制运算,电路结构十分复杂,使用一万八千多个电子管,运行时消耗功率达 150 kW,体积庞大,有 85 m<sup>3</sup>,占地面积 150 m<sup>2</sup>,重 30 t。它只能存储 750 条指令,每秒钟只能进行 360 次乘法运算,价值 40 多万美元。ENIAC 的出现标志着人类计算工具进入了一个新的时代,是人类文明发展史中的一个里程碑。

从第一台电子计算机问世至今,不过六十年的历史。然而它发展之迅速,普及之广泛,对整个人类社会和科学技术影响之深远,是任何其他学科所不及的。六十年来,计算机的发展经历了从电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机到大规模和超大规模集成电路(VLSI)计算机的更替,运算速度为每秒数百亿次甚至数千亿次的巨型机也已投入运行。计算机已从早期的数值计算、数据处理发展到目前的进行知识处理的人工智能阶段,不仅可以处理文字、字符、图形图像信息,而且可以处理音频、视频信息,已经实现了多媒体计算机且向智能化方向发展。

微型计算机由微处理器、存储器、输入输出设备与接口和其他逻辑部件组成,完全包含了冯·诺依曼计算机体系结构中的五个部件。它们彼此通过系统总线(地址总线 AB、数据总线 DB 和控制总线 CB)连接起来。将微型计算机配置相应的系统软件、应用软件及外部设备等,就可构成一个完整的微型计算机系统(microcomputer system)。微型计算机的出现,为计算机技术的发展和普及开辟了崭新的途径,是计算机科学技术发展史上的又一个新的里程碑。

微处理器和微型计算机的发展历史是和大规模集成电路的发展分不开的。20 世纪 60 年代初期的硅平面管工艺和晶体管逻辑电路的发展,使得在 1963 年、1964 年有了小规模集成电路(Small Scale Integration, SSI)的出现,之后的金属氧化物半导体(Metal Oxide Semiconductor, MOS)工艺,又使集成度提高了一大步。到 20 世纪 60 年代后期,在一片几平方毫米的硅片上,已可集成几千个晶体管,这就出现了大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI)。LSI 器件体积小、功耗低、可靠性高,为微处理器的生产打下了基础。现代最新型的集成电路已可在单个芯片上集成上千万个晶体管,线宽小于 0.13  $\mu\text{m}$ ,工作频率超过 2 GHz。

微型计算机的发展是以微处理器的发展为代表的,到目前为止,微处理器的发展过程经历了六代。

### 1.1.1 第一代微处理器(4 位或 8 位)

1971 年到 1973 年为 4 位或 8 位低档微处理器和微型计算机时代。这一时期的典型产品

是 Intel 4004 和 Intel 8008。

4004 是一种 4 位微处理器,可进行 4 位二进制的并行运算,拥有 45 条指令,速度为 0.05 Mips (Million instructions per second,每秒百万条指令)。4004 的功能极其有限,主要用于计算器、电动打字机、照相机、台秤、电视机等家用电器上。

8008 是世界上第一种 8 位的微处理器。与 4004 相比,它可一次处理 8 位二进制数据,其寻址空间扩大为 16 kB,并且扩充了指令系统(达到 48 条)。

第一代微处理器的基本特点是:采用 PMOS 工艺,集成度低(1 200 ~ 2 000 晶体管/片),系统结构与指令都比较简单,仅能进行串行十进制运算,且速度慢(基本指令执行时间为 10 ~ 20  $\mu$ s)。它采用机器语言编程,价格低廉,主要应用于家用电器和简单控制场合。

### 1.1.2 第二代微处理器(8 位)

1974 年到 1977 年为 8 位中档微处理器和微型计算机时代。这一时期的典型 CPU 产品有 Intel 8080、Zilog 公司的 Z80 系列和 Motorola 公司的 MC 6800 等。

1973 年,Intel 公司在 8008 的基础上推出了另一种 8 位微处理器 Intel 8080。这是一个划时代的产品,因为它是第一个真正实用的微处理器。它的存储器寻址空间增加到 64 kB,并扩充了指令集,指令执行速度达到 0.5 Mips,比 8008 快 10 倍。另外,它使 CPU 外部电路的设计变得更加容易且成本降低。

从此,微处理器和微型计算机像雨后春笋般地蓬勃发展起来。先后推出了一批性能优良的 8 位微处理器产品,如 Motorola 公司的 MC 6800、Zilog 公司的 Z80 系列、Intel 公司的 8085 等。

与第一代相比,第二代微处理器的显著特点是:采用了 NMOS 工艺,集成度提高约 4 倍(5 000 ~ 9 000 晶体管/片),主时钟频率为 2 ~ 4 MHz,平均指令执行时间为 1 ~ 2  $\mu$ s,速度提高了 10 ~ 15 倍(基本指令执行时间为 1 ~ 2  $\mu$ s),指令系统较为完善。这一时期推出的微型计算机,在系统结构上已具有典型的计算机体系结构以及中断、DMA 等控制功能,软件方面除汇编语言外,还可使用如 BASIC、FORTRAN 等高级语言;在系统设计上考虑了机器兼容性、接口的标准化和通用性,且外围配套电路种类齐全、功能完善,因此这种系统广泛应用于电子仪器、现金出纳机和打印机等设备中。

### 1.1.3 第三代微处理器(16 位)

1978 年到 1984 年为 16 位微处理器和微型计算机时代。这一时期的典型 CPU 产品有 8086、8088、Z8000 和 MC 68000。

Intel 80X86/Pentium 系列 CPU 以 Intel 公司 1978 年首先推出的 16 位 8086 为代表,这是第一种第三代微处理器。次年推出外部数据总线为 8 位的 8088(这主要是便于和大部分 8 位外设相连接)。在 Intel 公司推出 8086、8088 CPU 之后,各公司也相继推出了同类产品,有 Motorola 公司的 MC 68000 和 Zilog 公司的 Z8000 等。

第三代微处理器的主要特点是:采用了 HMOS 工艺,时钟频率为 5 ~ 40 MHz,集成度(达 20 000 ~ 70 000 晶体管/片)和速度(基本指令执行时间为 0.5  $\mu$ s)都比 8 位微处理器提高了一个数量级;数据总线宽度为 16 位,地址线为 20 位,最大可寻址空间为 1 MB,具有丰富的指令系统,且 CPU 的内部结构有很大改进。体系结构与指令更为完善和丰富,采用了多级中断、多种寻址方式、段式寄存器等结构。

16 位微处理器比 8 位微处理器有更大的寻址空间、更强的运算能力、更快的处理速度和更完善的指令系统。例如, Intel 8086/8088 内部采用流水线结构, 设置了指令预取队列, 使处理速度大大提高。在软件方面可以使用多种高级语言, 有完善的操作系统, 支持构成多处理器系统。所以, 16 位微处理器已能够替代部分小型机的功能。特别是在单任务、单用户的系统中, 8086 等 16 位微处理器更是得到了广泛的应用。

1982 年, Intel 公司还推出了性能更高的 16 位 CPU 80286(以 80287 作为它的协处理器), 它有 24 条地址线, 内存寻址范围为 16 MB, 主频为 6 MHz 以上。它将 CPU 中的 BIU 分成地址单元(AU)、指令单元(IU)和总线单元(BU)三部分, 并利用 IU 进行预译码来进一步提高速度。在存储器管理方面引入保护虚地址方式, 并可提供  $2^{30} = 1$  GB 的虚拟内存空间, 将部分外存信息有条件地与内存信息交换, 从使用角度看大大扩大了有限的内存容量。同时利用有效的特权保护可使由 286 CPU 构成的 IBM PC/AT(286 机)支持多用户。286 机具有实地址和保护虚地址两种工作方式。在 20 世纪 80 年代中、后期至 1991 年初, 80286 一直是个人计算机的主流 CPU。

#### 1.1.4 第四代高档微处理器(32 位)

1985 年到 1992 年为 32 位微处理器和微型计算机时代。这一时期的典型 CPU 产品是 Intel 80386、80486 和 Motorola 公司的 MC 68020、68040 等。与 16 位微处理器相比, 32 位微处理器从体系结构设计上有了概念性的改革与革新。

第四代微处理器的主要特点是: 大多采用了 HMOS 或 CMOS 工艺, 集成度每个芯片高达 100 万个晶体管, 基本指令执行速度一般在 25 Mips, 为微型计算机带来了小型机的性能。它们有 32 条地址线, 内存寻址范围为 4 GB, CPU 内部采用 6 级流水线结构, 使取指令、译码、内存管理、执行指令和总线访问并行操作。它使用二级存储器管理方式, 支持带有存储器保护的虚拟存储机制, 虚拟存储空间高达 264 GB。Intel 80386 工作主频在 16 MHz 以上, 以 80387 为协处理器。为了与 16 位外设兼容, 1988 年 Intel 还推出了数据总线内 32 位外 16 位的 80386SX, 仍用 80287 作协处理器, 其他的结构则与 80386 相同。Intel 80386 有实地址、保护虚地址和虚拟 8086(即可在机器上同时运行实地址、保护虚地址等不同方式的程序)三种工作方式。此外, 为加快存储器操作还引入了高速缓冲存储器 Cache, 这样可将具体数据运算从慢速的动态 RAM (DRAM)调整到 SRAM 中进行。

1989 年、1990 年和 1992 年, Intel 公司相继推出了 80486DX、80486SX 和 80486DX2 CPU, 其工作主频提高到了 50 MHz 以上。在 486DX 内部集成了 80386、80387、8 kB 的指令/数据 Cache 和高速缓存控制逻辑。为提高处理速度, 它采用了精简指令集计算(RISC)技术以减少指令执行时间, 将芯片内的浮点运算完全和常规算术逻辑运算并列运行, 综合性能要比 386 高 2~4 倍。486SX 和 486DX 的不同只是它内部不包含 387 协处理器。而 486DX2 则是在芯片内外采用两种主频工作, 内部主频为外部主频的两倍。

#### 1.1.5 第五代高档微处理器(64 位)

第五代微处理器是 Intel 公司于 1993 年推出的 Pentium 微处理器。Pentium 微处理器的推出, 使微处理器的技术发展到了一个新的阶段, 标志着微处理器完成从 CISC 向 RISC 时代的过渡, 也标志着微处理器对工作站和超级小型机冲击的开始。

Pentium(中文译名为奔腾)采用亚微米( $0.8\text{ }\mu\text{m}$ )CMOS 工艺技术,集成度为 330 万个晶体管/片,内部采用 4 级超标量结构,数据线 64 位,地址线 36 位。工作频率为 60 MHz 或 66 MHz,处理速度达 110 Mips。Pentium CPU 芯片在 486 基础上采用了全新的体系,它重新设计了增强型的浮点运算器,速度比 486 提高了 3~5 倍。CPU 内部采用超标量流水线设计,有 U、V 两条流水线并行工作,使 Pentium 在单个时钟内可执行两条整数指令;Pentium 片内采用双 Cache 结构(即程序 Cache 和数据 Cache),每个 Cache 容量为 8 kB,数据宽度为 32 位,将程序和数据 Cache 分开(各为 8 kB),以减少等待及移动数据的次数和时间,大大节省了处理时间;最重要的是采用了超标量流水线结构,允许多条指令同时执行来提高效率。具体设置是:有两条指令流水线和独立的超标量执行单元,在同一时钟内可同时发两条整数指令或一条浮点(某些情况还能再送一条整数)指令,并将常用指令固化以硬件速度执行;片内设置分支目标缓冲器(BTB),以预测分支指令结果,提前安排指令执行顺序,并可动态地预测分支程序的指令流向,节省了 CPU 判别分支的时间,大大提高了处理速度。

由于第一代 Pentium 采用  $0.8\text{ }\mu\text{m}$  工艺技术和 5 V 电源驱动,使得芯片尺寸较大,成本过高,另外其功耗达 15 W,使系统散热成为问题。在 1994 年 3 月,Intel 推出了第二代 Pentium(以 P54C 代称)。P54C 采用  $0.6\text{ }\mu\text{m}$  工艺和 3.3 V 电源,功耗仅为 4 W,而且可在不需要时自动关闭浮点单元,散热问题基本得以解决。P54C 的主时钟频率为 100 MHz 和 90 MHz 两种。

#### 1.1.6 第六代 Pentium 微处理器(64 位)

1996 年,Intel 公司正式公布的高档 Pentium 产品 Pentium Pro(又称 P6,俗称高能奔腾)也是一种 64 位 CPU。该处理器采用  $0.35\text{ }\mu\text{m}$  工艺,集成度是 550 万个晶体管/片,地址线为 36 位,寻址范围为 64 GB,其主频已提高到 133 MHz 以上,具有两倍 P5 的性能。

它的主要改进表现在两个方面:一是采用了动态执行技术,除了 P5 具有的转移指令预测功能外,还通过提前对指令间数据流的相互关系进行分析,对指令流进行优化重排,保证了超标量执行单元能满负荷工作;二是将二级 Cache(以加快存储器的操作,PC Pentium 机中除了主芯片内含有 Cache 外,在主板上又安装了 256~512 kB 的二级 Cache)也集成在同一块芯片上,从而在芯片内形成双重独立总线,有效地提高了性能。

随着多媒体技术的融入,在 1996 年到 1997 年间,Intel 公司相继推出了基于 P5 和 P6 芯片并附加多媒体声像处理指令(共 57 条)的 CPU,称为“具有 MMX 技术的 Pentium 和 Pentium Pro”,其型号分别为 P55C 和 Pentium II(简称 P II),它们均采用了  $0.35\text{ }\mu\text{m}$  工艺。P55C 在结构上比 P5 又有所改进,例如,它将内部 Cache 从 8 kB + 8 kB 增加到 32 kB,指令预测功能也有所提高。而 P II 除了对 P6 性能做了改善外,还在外观上采用了新的封装技术,先将芯片固定到基板上,再将它密封到金属盒中,可直接插到主板插槽中去。由 P55C 和 P II 构成的 PC 机分别称为多能奔腾机和 P II(即奔腾二代)机,它们比较适用于多媒体应用领域。

1999 年 2 月,Intel 公司再次推出 64 位的 CPU Pentium III(简称 P III),主频 450 MHz 以上,具有 32 kB 一级 Cache,512 kB 二级 Cache。它针对网络功能进行了优化,并且新增 70 条 SSE(Streaming SIMD Extensions,单指令多数据流扩展)指令,以提高 CPU 处理连续数据流的效率,加快浮点运算速度并加强多媒体功能。

2001 年以后,Pentium IV 系列进入市场,其 CPU 集成度达 2 500 万个晶体管/片,工作频率达 2 GHz 以上。

经过多年来市场的激烈竞争,目前市场占有率最高的微处理器当属 Intel 80X86/Pentium 系列。相信随着微电子技术的发展,功能更强的 CPU 还会不断问世,并被不断用于提高 PC 系列微机的性能。今天,计算机及其应用技术的发展速度、深度及其广度都远远超过了历史上任何一种技术手段和装备,在国防、科学研究、政治经济、教育文化等方面无所不及。计算机应用技术不仅引起社会各领域的巨大变革,反过来又推动计算机本身不断向前发展。

## 1.2 计算机中数据的表示

### 1.2.1 计算机中的数制

计算机是以电子器件为核心,用电子器件的状态表示数的。电子器件以两种不同的状态最为稳定可靠,它输出高电平或低电平,用这个高、低电平表示 1 位二进制数。因此在计算中,数全部是用二进制表示的。

#### 1. 二进制数

一个二进制数具有两个基本特征:

- ①具有两个不同的数字符号,即 0 和 1;
- ②逢 2 进位。

二进制数由排列起来的 0 和 1 组成,各位代表的数值不同,从位序号为 0 向左数,依次代表的数值为 1、2、4、8、16 等等。例如:

$$\begin{array}{cccc} D_3 & D_2 & D_1 & D_0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{array}$$

$D_0$  位的 1 代表 1,  $D_1$  位的 1 代表 2,  $D_2$  位的 1 代表 4,  $D_3$  位的 1 代表 8。每一位有一个基值与之相对应,这个基值称为位权。整数部分位权为 2 的正次幂,若为小数,则小数点后面数位的权为 2 的负次幂。例如:

$$\begin{array}{cccc} D_{-1} & D_{-2} & D_{-3} & D_{-4} \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{array}$$

$D_{-1}$  位的 1 代表  $2^{-1} = 0.5$ ,  $D_{-2}$  位的 1 代表  $2^{-2} = 0.25$ ,  $D_{-3}$  位的 1 代表  $2^{-3} = 0.125$ ,  $D_{-4}$  位的 1 代表  $2^{-4} = 0.0625$ 。一个二进制数所表示的实际值可用如下的公式计算:

$$\sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 2^i$$

例如:计算 1101.1101 的实际值为

$$\begin{aligned} (1101.1101)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\ &= (13.8125)_{10} \end{aligned}$$

#### 2. 十六进制数

在计算机中,最常用的为十六进制数。一个十六进制数的基本特点是:

- ①具有 16 个数字符号,采用 0~9 和 A~F;
- ②逢 16 进位。

十六进制数是由排列起来的 0~F 组成,每一个数位有一个权与之对应,小数点左边各数位的权为 16 的正次幂,小数点右边各数位的权是 16 的负次幂。

一个十六进制数表示的实际值可用下列公式计算：

$$\sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 16^i$$
  
例如： $(FF0E)_{16} = 15 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = (65294)_{10}$   
 $(A8.6C)_{16} = 10 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2}$   
 $= (168 \frac{27}{64})_{10}$

但是在机器中，数仍以二进制表示，这是由物理器件本身决定的。之所以用十六进制数表示，是因为4位二进制数可用1位十六进制数表示，这样人们看起来更方便、易懂。表1-1给出了二进制数与十六进制数、十进制数的对应关系。

表 1-1 二进制数、十六进制数、十进制数对照表

| 二进制数 | 十六进制数 | 十进制数 |
|------|-------|------|
| 0000 | 0     | 0    |
| 0001 | 1     | 1    |
| 0010 | 2     | 2    |
| 0011 | 3     | 3    |
| 0100 | 4     | 4    |
| 0101 | 5     | 5    |
| 0110 | 6     | 6    |
| 0111 | 7     | 7    |
| 1000 | 8     | 8    |
| 1001 | 9     | 9    |
| 1010 | A     | 10   |
| 1011 | B     | 11   |
| 1100 | C     | 12   |
| 1101 | D     | 13   |
| 1110 | E     | 14   |
| 1111 | F     | 15   |

为了区分数的进制，常用B表示二进制数，用H表示十六进制数，用D表示十进制数。

例如： $(1011)_2$  可表示为 1011B  
 $(1011)_{16}$  可表示为 1011H  
 $(1011)_{10}$  可表示为 1011D

3. 数制的转换

(1) 二进制数与十六进制数的转换

将二进制数转换成十六进制数相当方便。整数部分从小数点向左，每4位一份，组成1位十六进制数，不足4位的前面补0；小数部分由小数点向右，每4位一份，不足4位的后面补0。每4位用相应十六进制数代替，即转换成十六进制数。例如：

$(1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ .\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1)_2$

转换为

0011 0101 1110.1101 0101 1100  
3 5 E . D 5 C

转换结果为： $(35E.D5C)_{16}$ 。

若将十六进制数转换成二进制数，则只要把每1位十六进制数用相应的4位二进制数代替即可。例如：



(8BC.7E)<sub>16</sub>

转换为

(1000 1011 1100. 0111 1110)<sub>2</sub>

(2)二进制数与十进制数转换

将二进制数转换成十进制数的方法是借用公式

$$\sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 2^i$$

即将二进制数按权展开求和。前面已有实例,这里不再举例说明。

下面介绍将十进制数转换成二进制数的方法。转换时对整数部分和小数部分要分别对待,整数部分的转换方法是除 2 取余法,小数部分的转换方法是乘 2 取整法。

例如:将十进制数 206 转换成二进制数。

| 余数 |     |       |      |
|----|-----|-------|------|
| 2  | 206 | ..... | 0 低位 |
| 2  | 103 | ..... | 1    |
| 2  | 51  | ..... | 1    |
| 2  | 25  | ..... | 1    |
| 2  | 12  | ..... | 0    |
| 2  | 6   | ..... | 0    |
| 2  | 3   | ..... | 1    |
| 2  | 1   | ..... | 1 高位 |

转换结果为

(1100 1110)<sub>2</sub>

采取的方法是用 2 连续除以十进制数,直到商为 0 时结束,最先得到的余数为二进制数的最低位,最后得到的余数为二进制数的最高位。

小数部分的转换是用 2 去乘它,取乘积的整数部分为转换后的二进制小数的最高位,再用 2 去乘上一步乘积的小数部分,再取整数部分为二进制小数低一位的数字。重复乘 2 直到积为零或已达到二进制小数位数的要求,即转换过程完成。

例如:将十进制数 0.385 转换成二进制小数。

| 整数 |    | 0.385 | × 2 |
|----|----|-------|-----|
| 高位 | 0. | 77    | × 2 |
|    | 1. | 54    | × 2 |
|    | 1. | 08    | × 2 |
|    | 0. | 16    | × 2 |
|    | 0. | 32    | × 2 |
|    | 0. | 64    | × 2 |
| 低位 | 1. | 28    |     |

转换结果为

(0.0110001)<sub>2</sub>