



国家电工电子教学基地系列教材

微机原理与接口技术

Principles and Interface Technique of Microcomputer

◎ 张 凡 盛珣华 戴胜华 编著
◎ 郑学坚 主审



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北方交通大学出版社
<http://press.njtu.edu.cn>



国家电工电子教学基地系列教材

微机原理与接口技术

张 凡 盛珣华 戴胜华 编著

郑学坚 主审

清华大学出版社
北方交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是国家电工电子教学基地系列教材之一,是参照国家教育部关于高等学校工科非计算机专业计算机技术基础课程教学内容的要求而编写的。全书将微型计算机原理、汇编语言程序设计和微机接口技术整合在一起,以 Intel 80x86 微处理器为核心,系统地介绍微处理器的内部结构、指令系统、汇编语言程序设计、存储器、中断、I/O 接口技术、微机总线、人机交互接口和数模(D/A)与模数(A/D)转换接口。内容由浅入深、循序渐进、自然流畅,结构层次清晰,符合认知规律,具有可读性。每章都有丰富的习题与思考题,可供读者自学自测,帮助读者理解和掌握所学的知识。

本书参考学时为 64~80,可作为高等学校非计算机电子信息类专业及其他相关专业的本科生或大专生学习计算机的基础教材或参考书,也可供工程技术人员参考。

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

微机原理与接口技术 / 张凡,盛珣华,戴胜华编著. —北京:北方交通大学出版社,2003.10

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 7-81082-182-2

Ⅰ. 微… Ⅱ. ①张… ②盛… ③戴… Ⅲ. ①微型计算机—理论—高等学校—教材 ②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(2003)第 073979 号

责任编辑:郭 洁

印刷者:北京东光印刷厂

出版发行:北方交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686045, 62237564

清华大学出版社 邮编:100084

经 销:各地新华书店

开 本:787×960 1/16 印张:25.25 字数:560 千字

版 次:2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:32.00 元

国家电工电子教学基地系列教材 编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅 孙雨耕

委 员 (以姓氏笔画为序)

王化深	卢先河	刘京南	朱定华	沈嗣昌
严国萍	杜普选	李金平	李哲英	张有根
张传生	陈后金	邹家驷	郑光信	屈 波
侯建军	贾怀义	徐国治	徐佩霞	廖桂生
薛 质	戴瑜兴			

总 序

当今信息科学技术日新月异,以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平的信息技术人才,促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高,都对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来,国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践,探索了各课程的认知规律,确定了科学的教育思想,理顺了课程体系,更新了课程内容,融合了现代教学方法,取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果,在借鉴国内外同类有影响教材的基础上,决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为基础的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色:

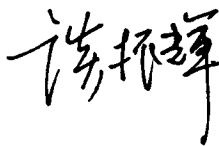
- 在教育思想上,符合学生的认知规律,使教材不仅是教学内容的载体,也是思维方法和认知过程的载体。
- 在体系上,建立了较完整的课程体系,突出了各课程内在联系及课群内各课程的相互关系,体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一。
- 在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今信息科学与技术的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题,培养学生分析问题和解决问题的素质与能力。
- 在辅助工具上,注重计算机软件工具的运用,使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用,提高了学习效率和效果。

本系列教材包括:

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《模拟集成电路基础》、《信号与系统》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教程》、《数字信号处理综合设计实验》、《电路基本理论》、《现代电子线路》(含上、下册)、《电工技术》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北方交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北方交通大学
“国家电工电子教学基地系列教材”
编审委员会主任

A handwritten signature in black ink, reading '陈保华' (Chen Baohua), written in a cursive style.

2003 年 8 月

前言

本书是为贯彻国家教育部“面向 21 世纪教学内容改革”的精神,适应微型计算机迅速发展的需要,参考了国内外同类优秀教材和资料,结合多年讲授“微机原理与接口技术”课程的教学实践而编写的。全书以世界上最广泛采用的主流机型 Intel 80x86 系列微处理器为背景,系统地讲述微处理器的内部结构、指令系统、汇编语言程序设计、存储器、中断、常用 I/O 接口芯片、微机总线、人机交互接口、数模(D/A)与模数(A/D)转换接口。

本书的主要特点是:

——由于本书是针对工科院校非计算机电子信息类专业学生学习计算机硬件技术基础课程而编写的教材,其主要目标是培养学生具备计算机的硬件知识和运用能力,因此本书从应用的角度出发,注重理论联系实际,在讲清基本概念、基本原理的基础上,强调实际应用能力的训练。书中结合基本内容,尽可能地引入应用实例;从理论和实际应用上介绍和分析微机的实现技术,建立微机系统的整机概念,使学生初步具备微机应用系统的软硬件设计与开发的能力。

——为适应当前微机发展的需要,本书在内容的组织上除了对微机技术的基础内容做详细介绍外,还对微机发展的新技术做了必要介绍。例如,书中对 Pentium 微处理器、Flash、Cache、虚拟存储器、USB、新一代高速总线 PCI Express、HyperTransport、InfiniBand 及网络接口等新技术做了简要介绍。使读者不但对微型计算机硬件的基本组成部分的构成、工作原理与实现技术有一个比较全面深入的了解,而且能够及时了解和掌握计算机发展的新动向。

——微机总线与人机交互接口是微机系统的重要组成部分,了解和掌握这些技术对深入理解完整的微机技术及提高微机应用水平非常有用。本书用较多的篇幅介绍了现代微机总线技术和人机交互接口技术。如在第 8 章微机总线中详细介绍了 ISA 总线、PCI 总线、USB 总线和 IEEE1394 总线,还对一些常用的总线和接口(如 SCSI、AGP、IDE)做了介绍,使读者对现代微机的总线有全面的了解。在第 9 章人机交互接口中详细介绍了键盘、鼠标器、显示器、硬盘、光驱、打印机和扫描仪等常用外部设备的构成、工作原理与接口技术,并且还对网络接口(包括最新的网络接口)做了介绍。在讲述这些内容时,尽可能地反映出当前微型计算机领域发展的新技术,并结合实际科研开发,给出了一些实际应用内容及实例(如 GAL 地址译码技术及 ISA 总线的开发与应用),因而具有实用性和参考价值。

——本书在章节内容的选材编排上,既考虑到电子信息类专业本科学生学

习,还兼顾到其他相关专业和不同层次学历的学生学习。书中各章的内容都具有相对的独立性,以给教学双方提供一定的知识内容的选择空间,教学双方可根据实际需要加以取舍,从而使教材具有较好的通用性。本书内容由浅入深、循序渐进、自然流畅,结构层次清晰、符合认知规律,具有良好的可读性。每章都有丰富的习题与思考题,可供读者自学自测,帮助读者理解和掌握所学的知识。

本书共分10章。第1章是微型计算机概述,介绍微机的发展概况、系统组成、数在计算机中的表示、主要性能指标和采用的一些先进技术。第2章是微处理器及其结构,重点介绍32位微处理器80486和Pentium的内部结构、芯片引脚信号、寄存器组、工作模式及总线时序。第3章是指令系统,介绍80x86数据类型、寻址方式、指令格式及功能。第4章是汇编语言程序设计,介绍MASM宏汇编语言结构和程序设计的方法,并给出程序设计实例。第5章是存储器,介绍半导体存储器的分类与性能指标,典型ROM与RAM芯片的外部特性与操作方式和存储器的扩展设计方法,同时还简要介绍高速RAM技术、高速缓冲存储器(Cache)技术、虚拟存储器技术,以及80x86存储器的管理方式。第6章是中断技术,介绍中断的基本概念、中断系统的功能、中断分类方法和中断处理的一般过程,并结合Intel 80x86微处理器的中断系统结构,重点讨论中断与异常类型、在实模式下与保护模式下的中断调用,以及可编程中断控制器8259A的中断管理功能及其使用方法。第7章是I/O接口技术,从应用角度介绍I/O接口的相关知识,并重点讲述并行接口8255、定时/计数器8254、串行接口8250/16550和DMA控制器8237A接口芯片的功能、内部结构、工作方式、初始化编程及其应用实例。第8章是微机总线,重点介绍了ISA总线、PCI总线、USB总线、IEEE1394总线,还对一些常用的总线和接口(如SCSI、AGP、IDE)及新一代高速总线PCI Express、HyperTransport、InfiniBand做了简要介绍。第9章是人机交互接口,介绍键盘、鼠标器、显示器、硬盘、光驱、打印机和扫描仪等常用外部设备的构成、工作原理与接口技术,并且还对网络接口(包括最新的网络接口)做了介绍。第10章是D/A与A/D转换接口技术,从现代控制系统的需求说明了D/A与A/D的重要性,给出了控制系统与微机模拟量输入输出的接口,讨论了D/A与A/D转换器的性能参数、术语及分类,介绍了如何选择各类转换器芯片等。

本书可作为高等院校非计算机电子信息类专业及其他相关专业的本科生或大专生学习计算机的基础教材或参考书,也可供工程技术人员参考。教学参考学时为64~80。

本书由张凡、盛珣华、戴胜华共同编写,张凡统稿。其中第1~4章由盛珣华编写,第5~7章由张凡编写,第8~10章由戴胜华编写。

本书承蒙清华大学郑学坚教授主审,他对书稿进行了认真的审阅和指导,提出了许多宝贵意见,在此向他表示衷心感谢。

在编写本书的过程中,我们得到北方交通大学电子信息工程学院领导的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平所限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

作者
2003年10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 微型计算机的发展	(1)
1.1.2 计算机软件的发展	(3)
1.2 微型计算机基础	(4)
1.2.1 微型计算机的硬件结构	(4)
1.2.2 进位计数制	(5)
1.2.3 数在计算机中的表示	(6)
1.2.4 数的编码方法	(10)
1.3 微型计算机系统	(12)
1.3.1 微机系统的硬件	(12)
1.3.2 微机系统的软件	(15)
1.3.3 微机系统的性能指标	(15)
1.4 微机系统采用的先进技术	(16)
1.4.1 流水线技术	(16)
1.4.2 高速缓冲存储器技术	(17)
1.4.3 虚拟存储器技术	(17)
1.4.4 RISC 技术	(17)
习题	(18)
第 2 章 微处理器及其结构	(20)
2.1 80x86 的内部结构	(20)
2.1.1 8086/8088 的内部结构	(20)
2.1.2 80486 的内部结构	(21)
2.1.3 Pentium 的内部结构	(24)
2.2 80x86 的寄存器组	(26)
2.2.1 基本寄存器	(26)
2.2.2 系统地址寄存器	(31)
2.2.3 控制寄存器	(32)
2.2.4 调试寄存器和测试寄存器	(34)

2.3 80x86 的工作模式	(36)
2.3.1 工作模式	(36)
2.3.2 实模式存储器寻址	(36)
2.3.3 保护模式存储器寻址	(40)
2.4 80x86 芯片的引脚信号	(44)
2.4.1 80486 的引脚信号	(44)
2.4.2 Pentium 的引脚信号	(47)
2.5 80x86 的总线操作时序	(51)
2.5.1 总线操作	(51)
2.5.2 80486 的总线操作时序	(52)
2.5.3 Pentium 的总线操作时序	(54)
习题	(56)
第3章 指令系统	(58)
3.1 数据类型	(58)
3.2 寻址方式	(59)
3.3 指令格式	(64)
3.4 指令系统	(65)
3.4.1 数据传送类指令	(65)
3.4.2 算术运算类指令	(68)
3.4.3 逻辑运算类指令	(72)
3.4.4 串操作指令	(75)
3.4.5 控制转移类指令	(76)
3.4.6 处理机控制指令	(78)
3.4.7 高级语言指令	(79)
习题	(79)
第4章 汇编语言程序设计	(83)
4.1 MASM 宏汇编语句结构	(83)
4.2 MASM 汇编语言数据、表达式和运算符	(84)
4.3 伪指令	(89)
4.3.1 变量定义语句	(89)
4.3.2 符号定义语句	(91)
4.3.3 段定义语句	(91)
4.3.4 过程定义语句	(95)
4.3.5 其他伪指令	(96)
4.4 程序设计	(98)
4.4.1 程序设计概述	(98)

4.4.2 分支程序设计·····	(100)
4.4.3 循环程序设计·····	(102)
4.4.4 子程序设计·····	(103)
4.5 DOS 和 BIOS 功能调用 ·····	(106)
4.5.1 DOS 功能调用 ·····	(106)
4.5.2 BIOS 功能调用 ·····	(110)
4.5.3 BIOS 功能调用和 DOS 功能调用的关系 ·····	(110)
4.6 实用程序设计举例·····	(111)
习题·····	(123)
第 5 章 存储器 ·····	(127)
5.1 存储器的分类与性能指标 ·····	(127)
5.1.1 半导体存储器的分类·····	(127)
5.1.2 半导体存储器的性能指标·····	(129)
5.2 ROM 存储器 ·····	(130)
5.2.1 EPROM 芯片 ·····	(130)
5.2.2 EEPROM 芯片 ·····	(131)
5.2.3 Flash 芯片 ·····	(132)
5.3 RAM 存储器·····	(134)
5.3.1 SRAM 芯片·····	(134)
5.3.2 DRAM 芯片 ·····	(135)
5.3.3 高速 RAM 技术 ·····	(137)
5.4 存储器扩展设计 ·····	(138)
5.4.1 存储器的构成原理·····	(138)
5.4.2 存储器的扩展设计·····	(139)
5.4.3 存储器片选信号的产生方法·····	(141)
5.4.4 存储器的扩展设计举例·····	(142)
5.5 高速缓冲存储器技术 ·····	(143)
5.5.1 Cache 的工作原理 ·····	(143)
5.5.2 Cache 的地址映射 ·····	(144)
5.5.3 Cache 的置换算法 ·····	(145)
5.6 虚拟存储器及其管理技术 ·····	(146)
5.6.1 虚拟存储器·····	(146)
5.6.2 分页存储管理·····	(146)
5.6.3 分段存储管理·····	(148)
5.6.4 段页存储管理·····	(148)
5.7 80x86 存储器管理模式 ·····	(149)
5.7.1 80x86 存储管理的特点 ·····	(149)

5.7.2	80x86 保护模式存储管理	(150)
5.7.3	虚拟 8086 模式存储管理	(153)
习题		(154)
第 6 章	中断技术	(155)
6.1	中断概述	(155)
6.1.1	中断与中断系统的功能	(155)
6.1.2	中断源分类及其他	(156)
6.1.3	中断的处理过程	(158)
6.2	80x86 中断系统	(159)
6.2.1	80x86 中断结构及类型	(159)
6.2.2	实模式下的中断与异常处理	(161)
6.2.3	保护模式下的中断与异常处理	(165)
6.3	中断控制器 8259A	(167)
6.3.1	8259A 的结构及引脚信号	(167)
6.3.2	8259A 的工作方式	(169)
6.3.3	8259A 的编程	(172)
6.3.4	8259A 的应用举例	(177)
习题		(181)
第 7 章	I/O 接口技术	(183)
7.1	I/O 接口概述	(183)
7.1.1	I/O 接口的功能与构成	(183)
7.1.2	I/O 端口的编址方式	(184)
7.1.3	输入输出的控制方式	(185)
7.2	并行接口芯片 8255A 及其应用	(186)
7.2.1	8255A 的结构及引脚信号	(186)
7.2.2	8255A 的工作方式	(188)
7.2.3	8255A 的编程	(191)
7.2.4	8255A 的应用举例	(193)
7.3	定时/计数器 8254 及其应用	(198)
7.3.1	8254 的结构及引脚信号	(199)
7.3.2	8254 的工作方式	(200)
7.3.3	8254 的编程	(203)
7.3.4	8254 的应用举例	(205)
7.4	串行接口芯片 8250/16550 及其应用	(207)
7.4.1	串行通信概述	(207)
7.4.2	8250/16550 的主要性能特点	(213)
7.4.3	8250/16550 的结构及引脚信号	(213)

7.4.4	8250/16550 的内部寄存器	(216)
7.4.5	8250/16550 的编程	(221)
7.4.6	8250/16550 的应用举例	(222)
7.5	DMA 控制器 8237A 及其应用	(228)
7.5.1	8237A 的结构及引脚信号	(228)
7.5.2	8237A 的工作方式	(231)
7.5.3	8237A 的工作时序	(232)
7.5.4	8237A 的内部寄存器	(233)
7.5.5	8237A 的编程	(238)
7.5.6	8237A 的应用举例	(240)
	习题	(242)
第 8 章	微机总线	(244)
8.1	总线概述	(244)
8.1.1	总线分类	(245)
8.1.2	总线的主要参数	(247)
8.2	ISA 总线	(247)
8.2.1	ISA 总线的主要特点和性能指标	(247)
8.2.2	ISA 总线信号	(248)
8.2.3	I/O 地址分配与寻址	(251)
8.2.4	GAL 地址译码技术	(252)
8.2.5	ISA 总线的开发与应用	(254)
8.3	PCI 总线	(257)
8.3.1	PCI 总线简介	(257)
8.3.2	PCI 总线信号定义	(259)
8.3.3	PCI/ISA 桥的负向译码	(264)
8.3.4	PCI 总线操作概述	(265)
8.3.5	PCI 总线配置	(266)
8.3.6	Compact PCI 总线简介	(272)
8.3.7	PCI 总线的新发展	(272)
8.4	通用串行总线 USB	(273)
8.4.1	USB 总线概述	(273)
8.4.2	USB 系统组成及原理	(274)
8.4.3	USB 数据流模型	(278)
8.4.4	USB 接口的软硬件开发	(281)
8.4.5	USB 2.0 简介	(283)
8.5	高速串行总线 IEEE1394	(283)
8.5.1	IEEE1394 的主要性能特点	(284)

8.5.2	IEEE1394 的工作模式	(284)
8.5.3	IEEE1394 和 USB 的比较	(285)
8.6	其他总线简介	(286)
8.6.1	小型计算机系统接口总线 SCSI	(286)
8.6.2	高速图形显示总线 AGP	(287)
8.6.3	IDE 接口	(289)
8.7	新一代高速总线	(292)
8.7.1	PCI Express	(292)
8.7.2	HyperTransport	(293)
8.7.3	InfiniBand	(293)
	习题	(293)
第 9 章	人机交互接口	(295)
9.1	PC 机键盘接口	(295)
9.1.1	PC 键盘接口概述	(295)
9.1.2	AT 键盘结构及工作原理	(296)
9.1.3	AT 键盘与 PC 机接口	(298)
9.2	鼠标器接口	(300)
9.2.1	鼠标器的基本工作原理	(300)
9.2.2	鼠标器与微机的连接方式	(300)
9.2.3	MS 串行鼠标器接口	(301)
9.3	显示器与显示卡	(301)
9.3.1	CRT 显示器	(301)
9.3.2	其他平面显示器	(303)
9.3.3	显示器安规认证及 TCO'03 标准	(306)
9.3.4	显示卡	(308)
9.4	硬盘与光驱	(310)
9.4.1	硬盘原理及接口	(310)
9.4.2	CD-ROM	(312)
9.4.3	DVD-ROM	(313)
9.5	打印机与扫描仪	(318)
9.5.1	打印机概述	(318)
9.5.2	针式打印机	(319)
9.5.3	喷墨打印机原理	(321)
9.5.4	激光打印机	(323)
9.5.5	并行打印机接口	(324)
9.5.6	扫描仪	(326)
9.6	网络接口	(329)

9.6.1 调制解调器 Modem	(329)
9.6.2 综合业务数字网 ISDN	(331)
9.6.3 非对称数字用户专线 ADSL	(332)
9.6.4 以太网 Ethernet	(333)
9.6.5 网线的规范与制作	(334)
9.6.6 最新的网络接口简介	(335)
习题	(336)
第 10 章 A/D 与 D/A 转换器接口	(337)
10.1 控制系统中的模拟接口	(337)
10.1.1 微机与控制系统的接口	(337)
10.1.2 模拟量输入通道的组成	(338)
10.1.3 模拟量输出通道的组成	(339)
10.2 数模转换器芯片(DAC)及其接口技术	(339)
10.2.1 D/A 的性能参数和术语	(339)
10.2.2 D/A 转换器的分类	(341)
10.2.3 典型 D/A 转换器的工作原理	(342)
10.2.4 D/A 转换器应用举例	(347)
10.3 模数转换器芯片(ADC)及其接口技术	(349)
10.3.1 A/D 转换器的分类及特点	(349)
10.3.2 A/D 转换器的主要技术指标	(351)
10.3.3 典型 A/D 转换器工作原理	(351)
10.3.4 A/D 转换器与微机接口需注意的问题	(358)
10.4 A/D 及 D/A 器件的选择	(359)
10.4.1 选择 A/D、D/A 芯片的主要依据	(359)
10.4.2 世界主要厂家的 A/D 和 D/A 器件简介	(360)
10.4.3 ADI 与 TI 公司部分 A/D 及 D/A 器件的性能及参数表	(362)
习题	(367)
附录 A Intel 80x86 常用指令表	(368)
附录 B DOS 功能调用	(377)
附录 C BIOS 功能调用	(383)
参考文献	(388)

第 1 章 微型计算机概述

提要 自20世纪70年代初大规模集成电路组成的微型计算机问世以来,仅30多年,微型计算机的硬件和软件系统得到了飞速的发展,微型计算机在我国国民经济各个领域得到广泛的应用。本章介绍微型计算机的发展概况、微机系统的组成、微机的主要性能指标和采用的一些先进技术。

自从1946年第一台通用计算机诞生,计算机已由电子管时代、晶体管时代、中小规模集成电路时代,发展到了大规模、超大规模集成电路时代。微处理器已经推出了四代产品:4位微处理器、8位微处理器,16位微处理器和32位以上微处理器。在微型计算机的发展过程中,最成功也最有影响力的是IBM PC系列微机,其代表机型有IBM PC/XT、PC/AT、80386微机、80486微机、Pentium(586)微机。迄今为止,微型计算机的硬件体系结构仍采用冯·诺依曼建立的经典结构,即微型计算机的硬件由运算器、控制器、存储器、输入和输出设备组成。过去在大型计算机上应用的一些先进技术,如流水线技术、虚拟存储器技术、高速缓冲技术,已经广泛地应用到微型计算机中。

1.1 微型计算机的发展概况

1.1.1 微型计算机的发展

微型计算机的核心部分是微处理器。世界上的第一个微处理器 Intel 4004 是 1971 年 Intel 公司研制成功的,它是一个 4 位微处理器。Intel 4004 可寻址 4096 个 4 位宽存储单元(4 位宽的存储单元通常称为半字节),其指令系统只有 45 条指令,用 P 沟道 MOSFET 技术制造,允许以 50 KIPS(每秒千条指令)的速度执行指令。4 位微处理器用于早期的视频游戏和基于微处理器的小型控制系统中。这种早期微处理器的主要问题是它的速度、字宽度和存储器容量不足。目前,4 位微处理器在低档应用领域中依然存在,如用于微波炉和小型控制器系统中,并且仍然可以从某些微处理器厂商那里得到它们。大部分计算器也仍然是基于 4 位微处理器的,它们处理 4 位 BCD(二进制编码的十进制)代码。

1971 年末,Intel 公司推出了 8008,这是 4004 的 8 位扩展型微处理器。8008 可寻址的

存储器空间扩大了 (16KB), 并且增加了指令 (总计 48 条), 这些为它在许多高级系统中的应用提供了机会。作为改进型, 1973 年 Intel 公司又推出了 8080 微处理器, 8080 的基本指令有 70 多条, 性能也大大优于前一代产品。8 位微处理器的其他产品有 Motorola 公司于 1974 年推出的 M6800 和 Zilog 设计的 Z80, 它们和 Intel 8080 成为当时微处理器的主要产品。

1978 年以后, 各厂家陆续研制出了 16 位微处理器, 其代表产品是 Intel 8086/8088 和 Intel 80286。1982 年, IBM 公司推出了以 Intel 8086 CPU 为处理器的 IBM PC 机。1983 年又推出了采用 Intel 8088 CPU 为处理器的 IBM PC/XT。这两种机型的内存为 1MB, 支持单任务的操作系统。1984 年, 以 Intel 80286 为 CPU 的 16 位增强型 PC 机 IBM PC/AT 上市, 其内存可达到 16 MB, 并支持多任务多用户操作系统。上述微机具有多种灵活的寻址方式和强有力的指令系统, 运算速度大大提高, 直接寻址的内存空间有了大幅度扩充。

20 世纪 80 年代中期, Intel 公司陆续推出 80386、80486、Pentium 系列 32 位微处理器, 它们是面向超高速性能、多任务处理、网络多媒体应用领域设计的, 适用于设计高性能、多功能的现代微型计算机系统。

80386 微处理器于 1985 年 10 月推出。它采用 $1.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 工艺, 集成了 27.5 万个晶体管, 时钟频率最高达到了 33 MHz, 数据总线和地址总线均为 32 位, 具有 4 GB 的物理寻址能力。由于在芯片内部集成了分段存储管理部件和分页存储管理部件, 它能够管理高达 64TB 的虚拟存储空间。另外, 它还提供了虚拟 8086 工作方式, 使得芯片能够同时模拟多个 8086 微处理器, 以同时运行多个 8086 应用程序。

80486 微处理器于 1989 年 4 月推出。它采用 $1.0 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 工艺, 集成了 120 万个晶体管, 时钟频率最高达到了 120 MHz。它除了沿用了 80386 的体系结构外, 还把浮点运算部件、8 KB 的高速缓冲存储器 Cache 集成在芯片内。这种集成极大地加快了 CPU 处理指令的速度, 使指令平均执行时间从 80386 的约 4.5 个周期降至约 1.8 个周期。芯片的整数处理部件采用 RISC 结构, 以加速处理单一指令的速度。此外, 80486 还引进了时钟倍频技术, 从而使主频可以超过 100 MHz。

Pentium 是 Intel 公司于 1993 年推出的全新一代高性能 x86 系列微处理器。它采用 $0.8 \sim 0.6 \mu\text{m}$ 的静态 BiCMOS 工艺, 集成了 310 万个晶体管, 时钟频率达到了 233 MHz。与 80486 相比, 在体系上做了重大改进, 采用了哈佛结构的 RISC (精简指令集计算机), 实现了多项先进技术, 如超标量流水线结构、分开的代码 Cache 和数据 Cache (哈佛结构)、流水线式高性能浮点部件, 以及增加的数据整合和出错检测功能、增强的调试和测试功能等。

Intel 公司于 1996 年推出了新 x86 系列 CPU-Pentium Pro。Pentium Pro 芯片内部集成了 550 万个晶体管, 内部时钟频率为 133 MHz, 处理速度几乎是 100 MHz Pentium 的 2 倍。高速缓冲存储器 Cache 大小为 16 KB, 其中 8 KB 为指令 Cache, 8 KB 为数据 Cache。主频 200 MHz 的 Pentium Pro CPU 的 L2 “二级 Cache” 就是运行在 200 MHz 时钟频率之下, 即二级 Cache 与处理器同频运行。这样的设计使 Pentium Pro 达到了很高性能。

MMX 是 Intel 公司在 1996 年为增强 Pentium CPU 在音像、图形和通信应用方面而采取