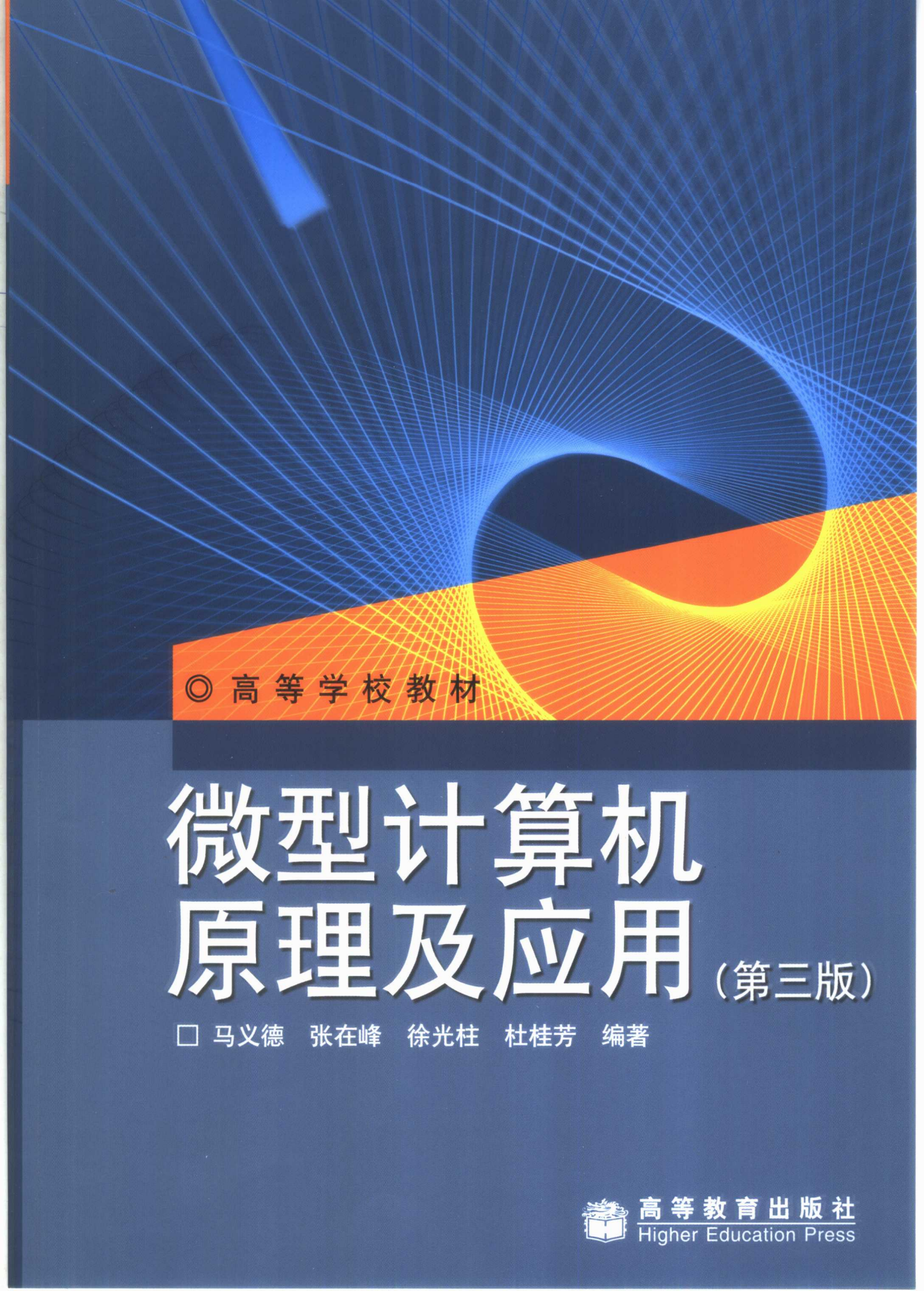




◎ 高等学校教材

微型计算机 原理及应用 (第三版)

□ 马义德 张在峰 徐光柱 杜桂芳 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

内 容 提 要

本书主要介绍由 80x86/Pentium 微处理器构成的微型计算机的原理、应用及最新发展现状。书中详细阐述了 80x86/Pentium 微处理器的编程结构、指令与寻址方式、汇编语言程序设计、存储器技术、总线技术,并阐述了 80x86/Pentium 微处理器构成的微型计算机硬件电路系统以及输入/输出处理技术的主要概念和应用实例。最后通过对微型计算机应用系统的介绍,归纳总结了微型计算机原理及其应用技术的主要内容,着重介绍了基于单片机技术的微型计算机应用系统开发实例,以及基于 PCI 总线和 USB 外部接口总线的微型计算机应用系统 I/O 接口硬件开发和软件驱动程序编写方法。概要介绍了以单片机、ARM、SOC、DSP 技术为基础的嵌入式系统应用与开发现状。

本书可作为信息学科相关专业微型计算机原理及应用课程教材,也可作为成人高等教育相关专业微型计算机原理及其应用课程教材,同时也适合计算机软硬件开发人员、维护人员、电脑爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机原理及应用/马义德等编著. —3 版.
北京:高等教育出版社, 2004.7
ISBN 7-04-015122-7

I. 微... II. 马... III. 微型计算机—基本知识
IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 051004 号

策划编辑 陈红英 责任编辑 陈红英
封面设计 王凌波 责任印制 孔 源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京星月印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 24
字 数 480 000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

版 次 2001 年 9 月第 1 版
2004 年 7 月第 3 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 28.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是面向 21 世纪信息学科主干课程建设教材。众所周知,微型计算机原理及其应用课程已成为工科院校相关专业的必修课程,特别是信息学科相关专业的重点主干课程,是信息学科相关专业后继课程学习的纽带和桥梁。

目前微处理器技术已从 16 位(8086/8088)CPU 发展到 32 位(80x86/Pentium 系列)和 64 位 CPU,微处理器的设计大量采用了超标量、流水线、虚拟存储器、多任务管理、高速缓存、多处理器管理等全新的设计结构,融合了当代计算机系统结构的先进技术。

从 1997 年以来,经过多年来对微型计算机原理及应用课程的教学、科研实践,结合 21 世纪信息学科相关专业主干课程建设规划,依据微型计算机技术的最新发展,针对学生在学习该课程过程中出现的问题和难点,考虑现有微型计算机原理及应用课程的特点,我们对原来只以 8086/8088 16 位微处理器为核心的课程教学大纲进行了补充和修订,剔除了本书第一、二版中不适应微型计算机最新技术发展的内容,在此基础上修订成本书。

考虑到国内大学现有微型计算机原理及应用课程教学实验设备仍然以 8086/8088 16 位微处理器为核心,本书编写时努力做到在深入浅出地讲解以 8086/8088 16 位微处理器为核心的微型计算机原理的前提下,介绍 80x86/Pentium 32 位微处理技术的发展;增加了 80x86/Pentium 32 位微处理器编程结构和工作模式内容;讲解 80x86/Pentium 32 位微处理器新增指令、存储器管理;增加了微型计算机常用总线及新技术,除介绍常用接口芯片及其应用外,还从微型计算机应用系统出发增加了新型总线接口(如 AGP、PCI、CAN、I²C、IEEE 1394、USB 等)介绍;本着理论联系实际,学以致用原则,增加了基于单片机技术的微型计算机应用系统开发实例和基于 PCI 总线、USB 外部接口总线的微型计算机应用系统 I/O 接口电路硬件开发和软件驱动程序编写等应用实例的介绍;最后概要介绍了迅速发展中的以单片机、CPU、DSP、SOC 等为核心的嵌入式系统技术的现状。

全书共分 8 章,其中第 1 至第 5 章为基本原理篇,主要讲解 80x86/Pentium 微型计算机基本原理;第 6 至第 8 章为应用技术篇,主要讲解 80x86/Pentium 微型计算机常用接口芯片和应用系统,其中:第 1 章简要介绍微型计算机基本概念和发展历程;第 2 章首先详细阐述 8086/8088 16 位微处理器的编程结构以及由其构成的微型计算机硬件电路系统,然后介绍 80x86/Pentium 32 位微处理器技术的发展,分析 80x86/Pentium 32 位微处理器编程结构和工作模式;第 3 章主要介绍微型计算机存储器技术基本原理和最新发展,分析了 80x86/Pentium 32 位微处理器存储器管理;第 4 章在详细阐述 8086/8088 16 位微处理器指令与寻

址方式的基础上,介绍了 80x86/Pentium 32 位微处理器新增指令系统;第 5 章介绍汇编语言程序设计基本内容,补充了 80x86/Pentium 系列扩展伪指令;第 6 章主要介绍微型计算机输入输出处理技术的概念和应用实例;第 7 章讲解 EISA、PCI、AGP 等微型计算机系统总线及 IEEE 1394、USB 等外部总线新技术;第 8 章通过对基于单片机、PCI 总线、USB 外部接口总线的微型计算机应用系统板卡 I/O 接口电路硬件开发和软件驱动程序编写等应用实例的介绍,发展中的嵌入式系统技术介绍,归纳和总结了微型计算机技术的主要内容。

本书力求做到深入浅出、通俗易懂,对硬件电路直接给出实际元器件引脚连接电路图,引导学生逐步培养计算机硬件电路分析、应用和设计能力。

本书主要由马义德、张在峰、徐光柱、杜桂芳编写,由马义德担任主编,并负责大纲拟定、组织编写和统稿。参与本书编写的人员还有张新国(编写了 8.1 节)、陈晓雷(整理和校对了第 1 章至第 3 章)、邵宇、冯晓兰(整理和校对了第 4 章和第 5 章)、袁敏(整理和校对了第 6 章)。

编写过程中得到了兰州大学郑晓静教授、张振国研究员、陶炳海先生的鼓励和大力支持,并得到兰州大学名牌课程建设计划、重点课程建设计划及教材出版计划基金的支持。兰州大学教务处、继续教育学院、兰州大学出版社、信息科学与工程学院以及有关领导、老师对本书的编写和出版给予的大力支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢!

本书能及时出版还要感谢王靖、马宏锋、马玉英、李柏年、贾志诚、王鸣啁、张久文、张祥光、吴承虎、史飞、陆福相、杨森、严春满、杜鸿飞、孟令锋、马潮、黄俊等老师和同学的特别协助。

由于时间仓促和水平有限,难免出现错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

第 1 章 微型计算机系统概述	(1)	2.3.3 8086/8088 的主要功能		(44)
1.1 微型计算机简介	(1)	2.4 80x86/Pentium 系列 CPU 技		
1.1.1 微型计算机的发展	(1)	术的发展		(49)
1.1.2 微型计算机的特点	(3)	2.4.1 80x86/Pentium 系列 CPU 功能的		
1.1.3 微型计算机的应用	(3)	不断完善		(49)
1.2 微型计算机的数据表示与数字		2.4.2 80x86/Pentium 系列 CPU		
信息编码	(4)	指令系统的不断完善		(52)
1.2.1 数据格式及机器码	(4)	本章小结	(53)	
1.2.2 数字信息编码的概念	(7)	习题	(54)	
1.3 微型计算机系统的基本组成	(8)	第 3 章 存储器技术	(56)	
1.3.1 微型计算机的硬件结构	(8)	3.1 存储器技术简介	(56)	
1.3.2 微型计算机的软件系统	(10)	3.1.1 存储器分类	(56)	
1.4 PC 的构成	(11)	3.1.2 存储器的主要性能参数	(58)	
本章小结	(12)	3.2 存储器的连接	(58)	
习题	(13)	3.3 存储器管理	(65)	
第 2 章 80x86/Pentium 系列微处理器	(14)	3.3.1 IBM PC/XT 中的存储空间		
2.1 16 位微处理器编程结构	(14)	分配	(65)	
2.1.1 微型计算机基本结构	(14)	3.3.2 扩展存储器及其管理	(66)	
2.1.2 8086/8088 CPU 的编程结构	(15)	3.4 内部存储器技术发展	(69)	
2.2 32 位微处理器编程结构简介	(26)	3.4.1 扩展数据输出动态随机访		
2.2.1 从 80386 到 Pentium III	(26)	问存储器 EDO DRAM	(70)	
2.2.2 实模式下的 32 位微处理器		3.4.2 同步动态随机访问存		
的编程结构	(27)	储器 SDRAM	(70)	
2.2.3 保护模式下的 32 位微处理器		3.4.3 突发存取的高速动态随机		
的编程结构	(29)	存储器 Rambus DRAM	(71)	
2.3 8086/8088 CPU 的引脚功能	(32)	3.5 外部存储器简介	(72)	
2.3.1 8086/8088 的引脚信号		3.5.1 硬盘及硬盘驱动器	(72)	
和功能	(32)	3.5.2 光盘存储器	(75)	
2.3.2 8086/8088 构成的最大/最		3.5.3 移动存储	(77)	
小系统	(35)	本章小结	(78)	

习题	(79)	5.3.2 数据定义伪指令	(156)
第4章 80x86/Pentium 指令系统	(80)	5.3.3 段定义伪指令	(162)
4.1 8086/8088 指令编码	(80)	5.3.4 过程定义伪指令	(166)
4.1.1 8086/8088 CPU 指令的编码 格式	(80)	5.3.5 宏处理伪指令	(168)
4.1.2 指令的执行时间	(83)	5.3.6 模块定义与通信伪指令、条件 汇编伪指令	(172)
4.2 8086/8088 寻址方式	(84)	5.3.7 列表伪指令	(172)
4.2.1 操作数的种类	(85)	5.4 80x86/Pentium 的扩展伪指令	(173)
4.2.2 寻址方式	(85)	5.4.1 方式选择伪指令	(173)
4.3 8086/8088 指令系统	(92)	5.4.2 80x86/Pentium 完整段定义 的扩充	(174)
4.3.1 数据传送类指令	(93)	5.4.3 80x86/Pentium 的简化段定 义伪指令	(175)
4.3.2 算术运算类指令	(99)	5.4.4 汇编程序控制语句	(180)
4.3.3 位操作类指令	(107)	5.5 汇编语言程序的上机过程	(181)
4.3.4 串操作类指令	(111)	5.5.1 编辑、汇编与连接	(181)
4.3.5 控制转移类指令	(116)	5.5.2 程序的调试与 DEBUG	(188)
4.4 80x86/Pentium 的指令格式与 寻址方式	(125)	5.6 汇编语言程序设计基础	(192)
4.4.1 80x86/Pentium 系列 CPU 指令 格式	(125)	5.6.1 程序设计的一般步骤	(192)
4.4.2 80x86/Pentium 寻址方式	(127)	5.6.2 程序设计的基本方法	(193)
4.5 80x86/Pentium 指令系统	(128)	5.6.3 子程序设计与调用技术	(199)
4.5.1 80286 指令系统	(129)	5.6.4 DOS 系统功能调用	(203)
4.5.2 80386 的增强和新增指令	(132)	5.7 中断服务程序设计	(205)
4.5.3 80486 的新增指令	(136)	5.7.1 中断的基本概念	(205)
4.5.4 Pentium 系列处理器的 新增指令	(137)	5.7.2 中断服务程序	(205)
本章小结	(139)	本章小结	(208)
习题	(139)	习题	(209)
第5章 汇编语言程序设计	(144)	第6章 输入/输出技术	(215)
5.1 程序设计语言概述	(144)	6.1 输入/输出接口概述	(215)
5.2 汇编语言的程序格式 与语句格式	(146)	6.1.1 输入/输出接口电路	(215)
5.2.1 汇编语言源程序的格式	(146)	6.1.2 CPU 与外设间数据输入/输 出方式	(216)
5.2.2 汇编语言的语句	(148)	6.1.3 微处理器与 I/O 接口电路 的连接	(218)
5.3 汇编语言的伪指令	(154)	6.2 中断系统	(219)
5.3.1 符号定义伪指令	(155)	6.2.1 中断的基本概念	(219)

6.2.2 可编程中断控制芯片 8259A	(226)	7.3.1 RS-232-C 及 RS-485 总线	(309)
6.2.3 CPU 与 8259A 接口 应用举例	(237)	7.3.2 IEEE-488 总线	(310)
6.3 并行接口	(239)	7.3.3 SCSI 总线	(310)
6.3.1 并行通信与并行接口	(239)	7.3.4 USB 总线	(311)
6.3.2 可编程并行通信接口 芯片 8255A	(240)	7.3.5 IEEE 1394 总线	(319)
6.3.3 CPU 与 8255A 应用举例	(246)	7.3.6 CAN 总线	(320)
6.4 串行接口	(249)	7.3.7 I ² C 总线	(321)
6.4.1 串行通信及串行接口	(249)	本章小结	(322)
6.4.2 可编程串行通信接口芯 片 8251A	(252)	习题	(323)
6.4.3 CPU 与 8251A 应用举例	(259)	第 8 章 微型计算机应用系统	(324)
6.5 DMA 控制技术	(260)	8.1 单片机控制系统设计举例	(324)
6.5.1 概述	(260)	8.1.1 空气压缩机电机控制系 统概述	(324)
6.5.2 可编程 DMA 控制器 8257	(261)	8.1.2 可控硅励磁工作原理	(325)
6.5.3 8257 的编程及其应用举例	(268)	8.1.3 微型计算机控制系统结构 与 STD 总线	(326)
6.6 定时器/计数器	(270)	8.1.4 STD 总线结构 8031CPU 主板	(328)
6.6.1 概述	(270)	8.1.5 STD 结构可控硅控制 信号板	(330)
6.6.2 可编程定时计数器 8253	(271)	8.1.6 可控硅励磁驱动板	(332)
6.7 A/D 及 D/A 接口	(278)	8.1.7 软件结构与程序流程图	(333)
6.7.1 概述	(278)	8.1.8 导通角相位控制程序结构	(333)
6.7.2 D/A 转换器及其与 CPU 的接口	(279)	8.2 基于 PC 机的接口电路设计	(334)
6.7.3 A/D 转换器及其与 CPU 的接口	(284)	8.2.1 基于 PCI 总线的 I/O 接口 电路设计	(334)
本章小结	(289)	8.2.2 基于 USB 总线的 I/O 接口 电路设计	(339)
习题	(289)	8.3 I/O 接口设备的 Windows 驱动 程序设计	(341)
第 7 章 计算机总线技术	(291)	8.3.1 驱动程序概述	(342)
7.1 总线基本知识	(291)	8.3.2 PCI 设备的驱动程序设计	(344)
7.2 系统总线	(292)	8.3.3 USB 设备的驱动程序设计	(347)
7.2.1 EISA 总线	(293)	8.4 嵌入式系统概述	(348)
7.2.2 PCI 总线	(297)	8.4.1 嵌入式系统简介	(348)
7.2.3 AGP 总线	(306)		
7.3 外总线	(309)		

8.4.2 嵌入式系统的特点和 开发前景·····	(356)	附录·····	(360)
8.4.3 嵌入式系统的应用前景·····	(358)	附录1 ASCII 码字符表·····	(360)
本章小结·····	(359)	附录2 8086/8088 指令系统表·····	(361)
习题·····	(359)	参考文献·····	(373)

第 1 章 微型计算机系统概述

1.1 微型计算机简介

计算机是 20 世纪的伟大发明,它标志着人类文明进入了一个新的历史阶段。20 世纪 70 年代初期,由于微电子技术和超大规模集成电路技术的发展,导致了以微处理器为核心的微型计算机的诞生。

1.1.1 微型计算机的发展

自 1946 年第一台电子计算机问世以来,计算机的发展已经历了电子管(1946 年~1959 年)、晶体管(1959 年~1965 年)、中小规模集成电路(20 世纪 60 年代中期至 20 世纪 70 年代初)、大规模集成电路(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路(20 世纪 70 年代初~21 世纪)4 个阶段。进入 21 世纪后,伴随着生物科学、纳米技术的飞速发展,生物芯片、神经网络技术也随之进入了计算机领域,从此计算机的发展进入第 5 个发展阶段。按体积、性能和价格来分,计算机可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机。

微型计算机与其他计算机的区别在于它采用了超大规模集成电路技术,将包含了冯·诺依曼计算机体系结构中的运算器和控制器——中央处理器(Central Processing Unit, CPU),又称微处理器(Microprocessor),集成在一片硅片上。微型计算机是指以微处理器为核心,配以存储器、输入/输出接口电路以及系统总线所组成的计算机。

随着微电子技术、特别是超大规模集成电路技术的发展,微型计算机技术的发展基本遵循所谓的摩尔定律,也即微处理器集成度每隔 18 个月翻一番,芯片性能也随之提高一倍左右。

通常,微型计算机的发展是以微处理器的发展为表征的。以其字长和功能来分,微处理器的发展经历了如下几个阶段:

① 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。典型的为 Intel 公司的 Intel 4004 和 Intel 8008。它们采用了 PMOS 工艺,集成度为 2 300 元件/片,基本指令执行时间为 $20\ \mu\text{s}$ ~ $50\ \mu\text{s}$,时钟频率在 500 kHz 以下,基本指令有 48 条。第一代微型计算机主要用于家电和简单控制场合。

② 1973 年到 1977 年为 8 位中档微处理器和微型计算机时代,如 Motorola 公司的

MC6800、ZILOG 公司的 Z80、Intel 公司的 Intel 8080/8085 等。它们采用了 NMOS 工艺,集成度提高了 4 倍,基本指令的执行时间是第一代产品的 1/10 左右,达到 $2\ \mu\text{s} \sim 10\ \mu\text{s}$,时钟频率大于 1 MHz,基本指令有 70 多条。第二代微型计算机主要用于电子仪器等领域。

③ 1978 年到 1984 年为 16 位微处理器和微型计算机时代,各厂家纷纷推出了 16 位微处理器。代表产品是 Intel 8086/8088、MC 6800 和 Z8000。它们采用了 HMOS 工艺,集成度达到 20 000 ~ 70 000 元件/片,基本指令执行时间为 $0.5\ \mu\text{s}$,主频为 4 MHz ~ 8 MHz;而且,这代计算机的指令系统更加完善,且采用了流水线技术、多级中断、多种寻址方式、段寄存器等结构,还可以与数学协处理器配合,进行浮点运算。1984 年诞生的 80286 微处理器为性能更加优越的 16 位 CPU,其主频为 6 MHz。

④ 1985 年到 1992 年为 32 位微处理器和微型计算机时代,它标志着微处理器跨入了第四代。典型的 CPU 为 Intel 80386、80486 和 MC 68030、68040 等。与 16 位 CPU 相比,32 位 CPU 在体系结构的设计上发生了概念性的变化:CPU 中引入了高速缓存以提高存储器的读取速度,并采用了精简指令集(RISC)以减少指令执行时间。这一代微处理器采用了 HOMS 或 CMOS 工艺,集成度高达 100 万元件/片,基本指令执行速度为 25 MIPS,主频为 16 MHz ~ 25 MHz,使微型机接近了某些小型机的性能。

⑤ 1993 年,Intel 公司推出了 32 位 Pentium 微处理器(P5,俗称 80586)。采用 $0.6\ \mu\text{m}$ 的静态 CMOS 工艺,集成度达到 350 万元件/片,基本指令执行时间为 $0.5\ \mu\text{s}$,主频为 60 MHz 以上。该系列微处理器采用了扩展总线访问、分别设置高速程序缓存和数据缓存、超流水线结构。

⑥ 1995 年,Intel 公司又相继开发出了 32 位 Pentium Pro 系列微处理器(P6)。其主频为 133 MHz,在主板上设置了两级缓存,并采用了动态执行技术,因而,其性能得以大大地提高。

随着多媒体技术的发展,1996 年 ~ 1997 年,Intel 公司又推出了具有 MMX 技术——附加多媒体声像处理指令的 Pentium II,其可用于多媒体应用领域。

表 1.1 给出了 80x86/ Pentium 系列 CPU 的主要性能参数。

表 1.1 Intel 80x86/Pentium 系列 CPU 的主要性能参数

微处理器	推出时间	生产工艺/ μm	首批时钟频率/Hz	集成度(百万元件/个)	寄存器位数/b	数据总线宽度/b	最大寻址空间	高速缓存大小
8086	1978	10	6.8	0.040	16	16	1 MB	无
80286	1982	2.7	12.5	0.125	16	16	16 MB	无
80386DX	1985	2	20	0.275	32	32	4 GB	无
80486DX	1989	1, 0.8	25	1.200	32	32	4 GB	8 KB L1
Pentium	1993	0.8, 0.6	60	3.100	32	64	4 GB	16 KB L1

续表

微处理器	推出时间	生产工艺/ μm	首批时钟频率/Hz	集成度(百万元件/个)	寄存器位数/b	数据总线宽度/b	最大寻址空间	高速缓存大小
Pentium Pro	1995	0.6	200	5.500	32	64	64 GB	16 KB L1、256 KB 或 512 KB L2
Pentium II	1997	0.35	266	7.500	32	64	64 GB	32 KB L1、256 KB 或 512 KB L2
Pentium III	1999	0.18	500	28.100	32	64	64 GB	32 KB L1 512 KB L2
Pentium IV	2000	0.13	1 300	55.100	32	64	64 GB	128 KB(D) + 8 KB(T) L1 256/512 KB L2

1.1.2 微型计算机的特点

微型计算机运算速度快,计算精度高;惊人的集成度使得微处理器非常稳定;同时批量生产可使其造价低廉;而且微型计算机硬件平台开放,易于扩展,适应性强;还有一点就是微处理器制造厂家本身除生产微处理器芯片外,还生产各种配套的支持芯片及各种支持软件,因而更新很快;另外,微型计算机还具有体积小、重量轻、耗电省及维护方便等特点。

1.1.3 微型计算机的应用

微型计算机的应用已经渗透到各行各业,大到卫星发射、石油勘察、矿产开发、天气预报、农业灌溉、生物医学;小到手机、电子钟表、儿童玩具等。微型计算机的应用非常广泛,包括科学计算、数据处理、过程控制、计算机辅助设计、人工智能等。

科学计算是微型计算机应用的主要领域之一,在工程应用方面包括卫星发射控制、航天飞机制造、高层建筑设计、机械产品设计等,在基础研究方面,包括生物信息学研究、基因测序、医学病理分析与处理,这些都离不开计算机的高速计算功能。

数据处理也是计算机信息处理非常重要的任务,包括数据库建立、信息检索、金融信息的联机传输与处理、人口普查等各种社会、政府部门数据信息的处理及统计等。

过程控制是微型计算机在工业应用中非常重要的领域,包括:大型工业锅炉控制、铁路调度与控制、数控机床控制,还有由上、下位微型计算机微计算机构成的分布式工业生产自动控制系统等。嵌入式系统的发展和应用使这种工业控制的应用领域更加广泛,市场前景更加美好。

计算机辅助设计和辅助制造(Computer-aided Design and Manufacturing, CAD/CAM)借助计算机调整、修改产品设计, CAM 就是围绕中心数控机床及其自动化设备,用以完成部件的加工、运输、组装、测量、检查等功能,现在通常把 CAD 与 CAM 放在一起,形成 CAD/CAM 一体化,是今后工业自动化发展的重要方向。

人工智能的主要目标是用计算机模拟大脑,实现大脑对于知识学习、理解与推理、信息处理的思维过程的研究学科。人工智能理论的新突破,特别是人工神经网络和 DNA 芯片技术的研究,急需对大型并行计算机的模拟计算和新型计算机技术进行研究。

1.2 微型计算机的数据表示与数字信息编码

计算机最主要的功能之一是信息处理,这些信息包括数值、文字、声音、图形和图像等。并且各种信息都是以数字的形式传输、存储和处理的。因此,掌握各种数制与信息编码的基本概念是至关重要的。

1.2.1 数据格式及机器码

1. 数据格式

计算机不仅可以进行整数运算,还可以进行小数运算。因此,小数点在数据中的位置就显得十分重要了。计算机中常用的数据格式有以下三种:

(1) 定点格式

定点格式表示的显著特点是小数点在数据中的位置固定不变。定点格式可表示成定点小数或定点整数。通常,小数点的位置确定后,在运算中不再考虑小数点的问题,因而小数点不占用存储空间。定点数表示简单,但数的取值范围小,精度低。

(2) 浮点格式

机器中所有数据的小数点的位置可变。浮点数通常的格式为:

$$N = R^e \cdot m$$

其中, N 为浮点数或实数; m 称为浮点数的尾数,是一个纯小数; e 称为浮点数的指数,是一个整数。基数 R 是一个常数。

在机器中表示一个浮点数时,一是要给出尾数,用定点小数形式表示。尾数部分给出有效数字的位数,因而决定了浮点数表示的精度。二是要给出指数,用整数形式表示,常称为阶码,阶码指明小数点在数据中的位置,因而决定了浮点数的表示范围。浮点数也要有符号位。因此一个机器浮点数应当由阶码和尾数及其符号位组成:

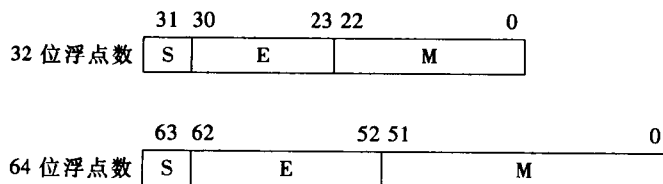
阶符	阶码	数符	尾数
----	----	----	----

若不对浮点数的表示作出明确规定,同一个浮点数的表示就不是惟一的。如 0.5 也可以表示成 0.05×10^1 , 50×10^{-2} , 等等。为了提高数据的表示精度,当尾数的值不为 0 时,其绝对值应 ≥ 0.5 ,即尾数域的最高有效位应为 1,否则要以修改阶码同时左右移小数点的办法,使其变成这一要求的表示形式,这称为浮点数的规格化表示。

例如: $0.1001101 \times 2^{+11}$ 为规格化的浮点数,而 $0.01011011 \times 2^{+110}$ 为非规格化的浮点数,必须通过左移尾数并同时修改阶码使其变为规格化的浮点数。

因为规格化会贯通的浮点数中的尾数不为 0 时,其最高位为 1,所以在将这样的浮点数写入内存或磁盘时,不必给出该位,可左移一位去掉它,目的是同样多的位能多保存一位二进制位。

为便于软件移植,按照 IEEE 754 的标准,32 位浮点数和 64 位浮点数的标准格式为:



不论是 32 位浮点数和 64 位浮点数,规定基数 $R = 2$ 。由于基数 2 是固定常数,不必用显式方式来表示它。

32 位浮点数中, S 是浮点数的符号位,占 1 位,安排在最高位, $S = 0$ 表示正数, $S = 1$ 表示负数。 M 是尾数,放在低位部分,占用 23 位,用小数表示,小数点放在尾数域的最前面。 E 是阶码,占用 8 位,阶符采用隐含方式,即采用移码方法来表示正负指数。移码方法对两个指数大小的比较和对阶操作都比较方便,因为阶码域值大者其指数值也大。采用这种方式时,应该将浮点数的指数真值 e 变成阶码 E ,此时,需将指数 e 加上一个固定的偏移值 127 (01111111),即 $E = e + 127$ 。

一个规格化的 32 位浮点数 x 的真值可表示为

$$x = (-1)^S \times (1.M) \times 2^{E-127} \quad e = E - 127$$

其中尾数域所表示的值是 $1.M$ 。因为规格化的浮点数的尾数域最左位(最高有效位)总是 1,故这一位经常不予存储,通过改变阶码使其隐藏在小数点的左边。

64 位的浮点数中符号为 1 位,阶码域为 11 位,尾数域为 52 位,指数偏移值是 1023。因此规格化的 64 位浮点数 x 的真值为:

$$x = (-1)^S \times (1.M) \times 2^{E-1023} \quad e = E - 1023$$

当一个浮点数的尾数为0,不论其阶码为何值,或者当阶码的值遇到比它能表示的最小值还小时,不管其尾数为何值,计算机都把该浮点数看成零,称为机器零。

例 1.1 若浮点数 x 的二进制存储格式为 $(41360000)_{16}$, 求其 32 位浮点数的十进制数。

解: 将 16 进制数展开,可得二进制数格式为

$$\begin{array}{c} 0 \underbrace{100\ 0001\ 0}_{\substack{\uparrow \\ S \text{ 阶码}(8 \text{ 位})}} \underbrace{011\ 0110\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000}_{\text{尾数}(23 \text{ 位})} \end{array}$$

指数 $e = \text{阶码 } E - 127 = 10000010 - 01111111 = 00000011 = (3)_{10}$

包含隐藏位 1 的尾数 $1.M = 1.011\ 0110\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000 = 1.011011$, 于是有

$$\begin{aligned} x &= (-1)^S \times 1.M \times 2^e \\ &= + (1.011011) \times 2^3 = + 1011.011 = (11.375)_{10} \end{aligned}$$

(3) 带符号数和无符号数

对于整数来说最高有效位为符号位,则该数为带符号数;反之,若数的最高有效位为数值位,则为无符号数。无符号数不一定是正数,当数据处理时,若不需要考虑数的正负,则可以使用无符号数。带符号数和无符号数的取值范围不同。例如,字长为 8 位的定点整数,无符号数的取值范围是 $0 \leq x \leq 255$,有符号数的取值范围是 $-128 \leq x \leq 127$ 。

2. 机器数表示

计算机中的数是用二进制来表示的。在机器中,把一个数连同其符号在内数值化表示的数称为机器数。通常,选择最高位作为符号位:用“0”代表正号“+”,“1”代表负号“-”。当然,机器数也可以用不同的码制来表示。常见的有:原码、反码、补码三种形式。

正数的原码、反码、补码相同,即 $[x]_{\text{原}} = [x]_{\text{反}} = [x]_{\text{补}}$ 。

负数机器数的求解方法如下:

- ① 反码:原码符号位不变,数值位按位取反;
- ② 补码:反码末位加 1。

应注意,原码是最基本的码制,用原码在计算机上运算时,首先要判断数据的符号,然后才能进行运算,这将增加机器的复杂程度和运算时间。为此,引入了补码和反码。反码是在由原码求补码的过程中产生的中间码。

另外,当计算机采用不同的码制时,运算器和控制器的结构将不同。采用原码形式的计算机称为原码机,与此类似,还有反码机和补码机。小型计算机和微型计算机大都为补码机。若数据在微型计算机中参与运算,则必须将其转换为补码。计算机中引入补码可以使:

- ① 符号位和数值位成为一体,共同参与运算,运算结果的符号位由运算得出。
- ② 减法可以转换成加法运算来完成,乘法和除法又可以通过加法和移位运算来完成。

这样,二进制数的四则运算只须加减法和移位运算即可完成。

由此可见,计算机中引入补码的目的是简化运算方法,从而简化运算器的结构和设计。

例 1.2 用 8 位二进制数表示 -107 、 45 、 0.625 和 -0.5 的原码、反码、补码。

解:	十进制数	二进制数	原码	反码	补码
	-107	-1101011B	11101011	10010100	10010101
	45	101101B	00101101	00101101	00101101
	0.625	0.101B	0.1010000	0.1010000	0.1010000
	-0.5	-0.1B	1.1000000	1.0111111	1.1000000

1.2.2 数字信息编码的概念

所谓编码,就是用少量的基本符号,按照一定的排列组合原则,表示大量复杂多样信息的一种操作,其中基本符号的种类和排列组合规则是信息编码的两大要素。

下面分别介绍计算机中信息编码和常用数据表示的几种方法。

1. 二进制编码的十进制数

计算机内部采用二进制数,而外部数据的输入/输出使用十进制数 $0 \sim 9$ 。为此,采用编码方式来完成二进制数与十进制数的转换。例如,8421BCD 码就是用 4 位二进制数的编码来表示十进制数,表 1.2 列出了其编码关系,还列出了与其对应的十六进制数。计算机使用了 8421 BCD 码后,就可以直接使用二进制数部件完成十进制数的存储和运算。

表 1.2 常用编码形式十进制数的对应关系

十进制数	十六进制数	8421BCD	十进制数	十六进制数	8421BCD
0	0	0000 0000	8	8	0000 1000
1	1	0000 0001	9	9	0000 1001
2	2	0000 0010	10	A	0001 0000
3	3	0000 0011	11	B	0001 0001
4	4	0000 0100	12	C	0001 0010
5	5	0000 0101	13	D	0001 0011
6	6	0000 0110	14	E	0001 0100
7	7	0000 0111	15	F	0001 0101

2. 字符编码

ASCII 码 (American Standard Code for Information Interchange) 是国际通用的字符编码标准(见附录 1)。一般,ASCII 码的最高位可用于奇偶校验,故仅用 7 位二进制数来进行字符

编码,共可表示 128 个字符,其中的 32 个起控制作用的称为“功能码”,其余的 94 个符号称为信息码,供书写程序和描述命令之用。

在确定某个字符的 ASCII 码时,可先确定该字符在表中所对应的行与列,其中,列对应着高位码($d_6d_5d_4$),行对应低位码($d_3d_2d_1d_0$),高位码与低位码组合在一起就是该字符的 ASCII 码。

应注意,表中有一些非显示字符,它们同样有 ASCII 码,如删除键(DEL)和回车键(CR)的 ASCII 码分别为 40H 和 0DH。

3. 汉字编码

当计算机用于汉字处理或汉字的输入/输出时,可用若干位二进制编码来表示一个汉字。通常,一个汉字的编码可用内码、字模码和外码来描述。内码是用于汉字的存储、交换等操作的计算机内部代码。一个汉字内码通常用两个字节表示,且这两个字节的最高位均为 1,以区别英文字符的 7 位 ASCII 码。字模码是汉字的输出编码,字库中存放的就是字模码。外码是汉字的输入码,用来输入汉字的编码。

1.3 微型计算机系统的基本组成

1.3.1 微型计算机的硬件结构

微型计算机系统由硬件(或称硬件设备)和软件(或称软件设备)两大部分组成。1946 年,美籍匈牙利数学家冯·诺依曼第一次提出了计算机的组成和工作方式。依据他的思想,计算机可划分为五大部分:运算器、控制器、存储器、输入和输出设备。这几部分通过三类总线(BUS)——地址总线(Address Bus)、控制总线(Control Bus)和双向数据总线(Data Bus)来连接。

微型计算机的一般结构如图 1.1 所示。通常,将控制器、运算器、存储器合称为计算机的主机,而微处理器,即中央处理单元(CPU)由运算器和控制器构成。在主机中,以微处理器为核心,加上存储器以及相应的外设就构成了微型计算机。主机配以相应的外设则构成了计算机的硬件系统。

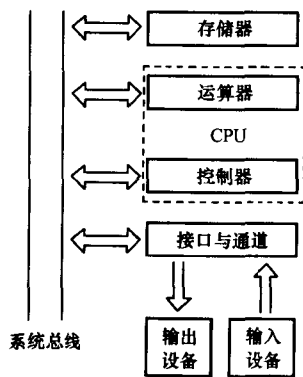


图 1.1 计算机主要硬件组成

1. 运算器

运算器用以实现算术运算、逻辑运算和其他操作。运算器的硬件结构决定了它所能实现的功能。

2. 控制器

控制器是指指挥机器工作的控制中心,它通过执行指令来控制全机工作。指令是规定计算机执行特定操作的命令,通常一条指令对应着一种基本操作,一台计算机能执行什么样的操作由其指令系统决定。在使用计算机时,必须把要解决的问题编成一条条指令,这些指令的有序集合就是程序。指令通常以二进制机器码(Machine Code)的形式存放在存储器中。为完成一条指令所规定的操作,计算机的各个部件需要完成一系列的基本动作,这些基本动作又需要按照一定的时序,有节拍地完成。控制器的作用就是根据指令的规定,在不同的节拍将相应的控制信号送至计算机的相关部件。

3. 存储器

存储器的作用是存储数据和指令,这些数据和指令均以二进制代码的形式保存在存储器中。在计算机内部,通常使用半导体存储器,称为内部存储器(内存)。内存的工作速度较高,和CPU的速度基本匹配,但内存容量是有限的;另外,断电后,内存中的信息将全部丢失,这就引入了外部存储器(外存)。外存属于外部接口设备,一般不能直接与CPU交换信息。通常,用内存存放常用的程序或正在运行的指令或数据,而其他大量的信息则存放在外存,如磁盘、磁带、光盘等存储介质中。

4. 输入/输出设备及其接口电路

输入/输出(I/O)设备是计算机与外界进行信息交换的接口设备。

输入设备的作用是将各种形式的信息转换为计算机所能接受的数据形式。目前常用的输入设备有键盘、A/D(数据/模拟)转换器、扫描仪等。

输出设备的作用是将计算机处理的结果转换为人或其他设备所能识别的形式,如CRT显示器,各种打印机、绘图仪、投影仪等。

计算机的输入/输出设备种类繁多,速度各异,需要通过输入/输出接口电路与主机相连,完成数据格式转换、速度匹配,才能实现信息的正确传输。

5. 总线

总线是计算机各个部件进行信息传输的公共通道。为保证信息能正确传递,在任意时刻,总线上只允许传递一组信息。

若按总线上传输信息的性质划分,总线可分为:

(1) 地址总线 用来传输CPU输出的地址信号,确定被访问的存储单元、输入/输出端