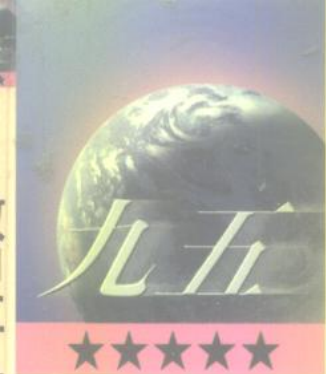
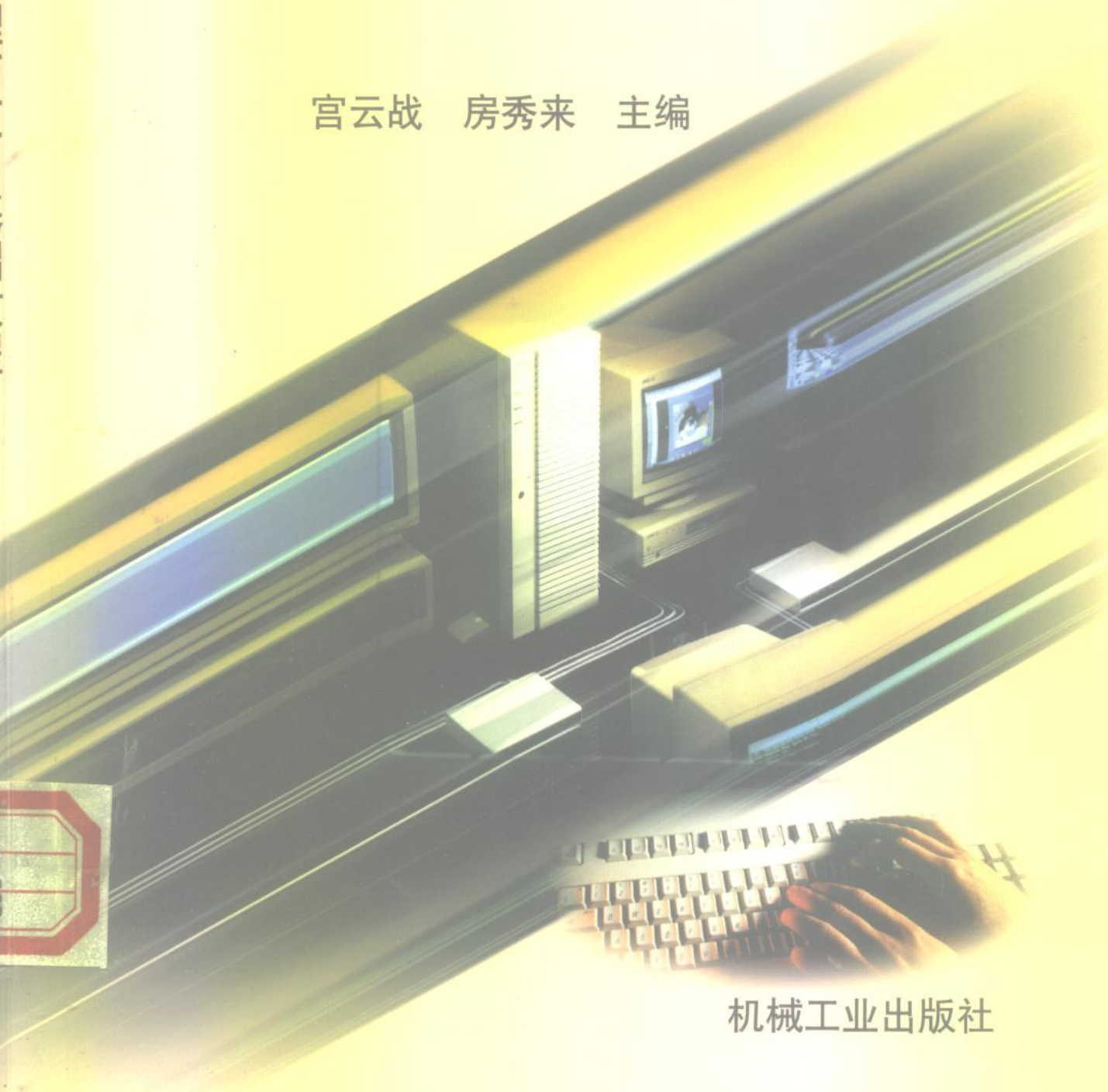




普通高等教育“九五”国家级重点教材

微型计算机原理 与应用基础教程

宫云战 房秀来 主编



机械工业出版社

TP360.1

G54

普通高等教育“九五”国家级重点教材

微型计算机原理与应用

基础教程

宫云战 房秀来 主 编



机械工业出版社

JS213/21

本书从计算机应用出发,以 PC/486 和 Pentium 微型机为主要背景机,介绍了微型机的原理与应用。全书共分九章,比较全面地叙述了微型机的基本概念、CPU 的结构和功能、指令系统与汇编语言的程序设计、总线的基本概念和标准总线、存储器的基本概念及其在计算机中的组织方式、输入/输出与中断、微型机的接口技术和微型机的硬件系统等。

本书内容新颖、概念清楚、深入浅出、结构合理,配有大量的例题和习题,既便于教学,又便于自学。本书可作为高等工科院校非计算机专业的专科通用教材,也可作为计算机爱好者的自学参考书。

微型计算机原理与应用基础教程

装甲兵工程学院 宫云战 房秀来 主编

*

责任编辑:周娟 王龙 版式设计:武江

封面设计:姚毅 责任校对:吕昌铃

责任印制:路琳

*

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街 22 号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

*

787mm×1092mm 1/16·印张 18·字数 442 千字

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 0001—4000 册 定价:26.00 元

*

ISBN 7-111-07048-8/TP·1007 (课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

编写组人员

主 编： 宫云战 房秀来

编写人员： 宫云战 房秀来 吕昌玲

 何新华 张 威 王维锋

主 审： 王立福 程 旭

前 言

目前,计算机的应用已深入到社会的各个领域,成为人类文化的重要组成部分。计算机已成为当代知识分子分析问题、解决问题的重要工具,应用计算机的能力是现代人高科技素质的重要标志之一。

在我国高等院校,非计算机专业的计算机层次教育(即计算机文化基础、计算机技术基础、计算机应用基础)已逐步被社会所公认。近些年来,随着 PC 486 及 Pentium 系列等高档微型机的出现,“Windows 文化”在微型计算机中的统治地位日趋加强,计算机的使用已从会使用 DOS 及 DOS 系列应用软件变成会使用 Windows 及 Windows 系列应用软件。在此背景下,编写一套适合高等院校使用的计算机系列教材已非常必要,这套教材已被教育部列为“国家级‘九五’重点教材”。

《微型计算机原理与应用基础教程》是此系列教材的第三册,它属于计算机硬件技术基础的范畴。全书共分九章:第 1 章简要介绍了微型机的发展、特点、分类及基本组成原理等。第 2 章是微处理器及其结构,在简要介绍 8086/8088CPU 结构的基础上,重点介绍了 80486 及 Pentium 机 CPU 的体系结构。第 3 章是指令系统,主要介绍了 80486 及 Pentium 机的各种指令。第 4 章是汇编语言程序设计,介绍了汇编语言程序设计的各种方法,同时也简要介绍了程序调试工具 Turbo Debugger。第 5 章介绍了总线的基本概念和几种比较常用的标准总线。第 6 章介绍了存储器的基本概念及其在计算机中的组织方式。第 7 章是输入/输出与中断,介绍了输入/输出的各种控制方法,同时详细叙述了 486 的中断结构和 Intel8259A 可编程中断控制器。第 8 章介绍了并行通信、串行通信的基本概念,对目前常用的接口芯片,如 Intel8255A、INS8250、Intel8253、82380 及模拟接口芯片 DAC0832 和 ADC0809 也做了介绍。第 9 章是微型计算机硬件系统,主要介绍了 Intel 系列微型计算机硬件系统的特点、显示适配器、多功能适配器和键盘与鼠标的接口等。

本书遵循“讲清基本概念、循序渐进、深入浅出、通俗实用”的原则,内容丰富、新颖,编排合理。为便于教学和自学,书中配有大量的例题和习题,可作为高等工科院校专科非计算机专业二年级或三年级 60~80 学时的教材。

本书的编写过程中承蒙许多专家、教授的不吝赐教和热心帮助。北京大学王立福教授、程旭教授在审稿期间,提出了许多建设性的意见。国防科技大学副校长齐治昌教授、邹鹏教授、陈怀义教授,总参第五十一研究所陈立杰教授,北京航空航天大学金茂忠教授,军械工程学院陈致明教授,装甲兵指挥学院刘湖平副教授,装甲兵工程学院杨醒民教授、周启煌教授等对编写工作提出了许多宝贵的建议,谨此向他们表示诚挚的感谢。

由于作者的水平有限,书中一定存在不少不足之处,恳请读者批评指正。

主 编 宫 云 战
1998 年 11 月于北京

目 录

前 言

第 1 章 微型计算机概述	1
1.1 微型计算机的发展与应用	1
1.1.1 微型计算机的发展概况	1
1.1.2 微型计算机的应用领域	2
1.2 计算机的运算基础	3
1.2.1 进位计数制	4
1.2.2 二进制与十进制之间的转换	5
1.2.3 二进制数的运算	7
1.2.4 带符号数的表示及运算	9
1.2.5 数的定点表示和浮点表示	10
1.2.6 二进制编码	12
1.3 微型计算机系统的特点、分类和主要性能指标	13
1.3.1 微型计算机系统的三个层次	13
1.3.2 微型计算机系统的特点	14
1.3.3 微型计算机系统的分类	14
1.3.4 微型计算机系统的主要性能指标	14
1.4 微型计算机系统的组成	15
1.4.1 微型计算机系统的硬件结构	15
1.4.2 微型计算机软件系统的组成	17
1.5 微型计算机的基本工作原理	17
1.5.1 指令、指令系统和程序简介	17
1.5.2 指令的执行过程	17
1.6 微型计算机中应用的先进技术	20
1.6.1 流水线技术	20
1.6.2 高速缓冲存储器技术	20
1.6.3 虚拟存储器技术	20
1.6.4 乱序执行技术	21
习 题 1	21

第 2 章 微处理器及其结构	23
2.1 8086/8088 微处理器	23
2.1.1 8086/8088 CPU 内部结构	23
2.1.2 8086/8088 存储器管理	26
2.2 80486 微处理器	27
2.2.1 80486 CPU 内部结构	28
2.2.2 80486 CPU 外部引脚	33
2.2.3 80486 工作模式	35
2.3 80486 存储器管理	36
2.3.1 存储器管理机制	36
2.3.2 分段功能	37
2.3.3 分页功能	41
2.3.4 物理地址的形成过程	42
2.3.5 系统的初始化	44
2.4 Pentium 系列微处理器	45
2.4.1 Pentium CPU 简介	45
2.4.2 PentiumPro CPU 简介	47
2.4.3 PentiumII CPU 简介	48
习 题 2	49
第 3 章 指令系统	51
3.1 指令格式与寻址方式	51
3.1.1 汇编语言指令格式	51
3.1.2 80X86/Pentium 系列的寻址方式	51
3.2 80X86/Pentium 系列的指令系统	55
3.2.1 数据传送指令	55
3.2.2 算术运算指令	61
3.2.3 逻辑运算指令与移位指令	65
3.2.4 串操作指令	68
3.2.5 标志处理指令	71
3.2.6 位操作指令	72
3.2.7 控制转移指令	72
3.2.8 条件字节设置指令	76

3.2.9 其它类型指令	77
3.2.10 支持保护模式的指令	78
习 题 3	79
第 4 章 汇编语言程序设计	82
4.1 汇编语言基础	82
4.1.1 汇编语言程序结构	82
4.1.2 汇编语言语句	84
4.1.3 伪指令语句	86
4.1.4 汇编语言运算符	92
4.2 汇编语言程序设计	94
4.2.1 输入/输出 DOS 功能调用简介	95
4.2.2 顺序程序设计	96
4.2.3 分支程序设计	98
4.2.4 循环程序设计	102
4.2.5 多重循环程序设计	106
4.2.6 子程序设计	107
4.2.7 多模块程序设计	111
4.2.8 进入保护模式的编程	113
4.3 汇编语言程序上机过程	119
4.3.1 汇编语言程序上机的基本操作	119
4.3.2 程序调试工具 Turbo Debugger	121
习 题 4	129
第 5 章 总 线	132
5.1 总线的一般概念	132
5.1.1 总线和总线标准	132
5.1.2 总线分类	132
5.1.3 总线操作与总线定时	134
5.2 标准总线	137
5.2.1 ISA 总线	138
5.2.2 PCI 总线	141
5.2.3 AGP 总线	146

习 题 5	147
第 6 章 存储器	148
6.1 概述	148
6.1.1 存储器分类	148
6.1.2 存储器的主要性能指标	149
6.1.3 存储系统的层次结构	149
6.2 半导体存储器	151
6.2.1 半导体存储器分类	151
6.2.2 随机存取存储器(RAM).....	152
6.2.3 只读存储器(ROM).....	155
6.3 主存储器系统的构成原理	157
6.3.1 主存储器结构	157
6.3.2 存储器的连接与扩充	157
6.3.3 FPM DRAM/EDO DRAM/SDRAM 简介	161
6.3.4 存储空间分配	163
6.4 辅助存储器简介	164
6.4.1 磁盘存储器	164
6.4.2 光盘存储器	166
习 题 6	167
第 7 章 输入/输出与中断	168
7.1 输入/输出(I/O)接口	168
7.1.1 CPU 与外围设备之间的接口信息	168
7.1.2 I/O 接口的构成	168
7.1.3 I/O 端口的编址方式	169
7.2 输入/输出的控制方式	170
7.2.1 无条件传送方式	170
7.2.2 程序查询方式	170
7.2.3 中断控制方式	172
7.2.4 直接存储器存取(DMA)方式	173
7.3 微型计算机的中断系统	174

7.3.1 概述.....	175
7.3.2 80X86/Pentium 系列微处理器的中断结构.....	177
7.3.3 实模式下的中断与异常处理	180
7.3.4 修改中断向量	182
7.3.5 保护模式下的中断与异常处理	185
7.4 可编程中断控制器 8259A	188
7.4.1 概述.....	188
7.4.2 8259A 的基本结构和引脚功能	188
7.4.3 8259A 的工作方式	190
7.4.4 8259A 的编程.....	192
7.4.5 8259A 应用举例.....	195
习 题 7.....	198
 第 8 章 微型计算机接口技术.....	 200
8.1 并行数据通信接口	200
8.1.1 并行通信与并行接口	200
8.1.2 可编程并行通信接口芯片 8255A	201
8.2 串行数据通信接口	210
8.2.1 串行通信的基本概念	210
8.2.2 串行通信标准总线接口	214
8.2.3 可编程串行接口芯片 INS8250.....	216
8.3 计数/定时接口	224
8.3.1 概述.....	224
8.3.2 可编程计数/定时器芯片 8253	225
8.4 多功能接口芯片 82380	232
8.4.1 82380 的体系结构	232
8.4.2 82380 的主要功能	233
8.5 模拟接口	234
8.5.1 控制系统中的模拟接口	235
8.5.2 数/模(D/A)转换器.....	236
8.5.3 模 / 数(A / D)转换器	240
8.5.4 DAC0832 和 ADC0809 芯片应用实例	243
习 题 8.....	247

第 9 章 微型计算机硬件系统	249
9.1 PC 系列微型计算机的硬件系统	249
9.1.1 PC/XT 微型计算机硬件系统.....	249
9.1.2 486/Pentium 系列微型计算机硬件系统.....	251
9.2 CRT 显示适配器	255
9.2.1 CRT 显示器.....	255
9.2.2 显示适配器	257
9.3 多功能适配器	259
9.3.1 硬盘/软盘适配器	259
9.3.2 并行打印机适配器	261
9.3.3 异步通信适配器	266
9.4 键盘及鼠标器适配器	268
9.4.1 键盘适配器	268
9.4.2 鼠标器适配器	273
习 题 9	275
参考文献	275

第 1 章 微型计算机概述

1.1 微型计算机的发展与应用

1.1.1 微型计算机的发展概况

自从 1946 年美国宾夕法尼亚大学研制出世界上第一台数字电子计算机 ENIAC 以来, 计算机的发展突飞猛进, 日新月异。短短的 50 年中, 已经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机和大规模/超大规模集成电路计算机四代的发展历程, 自 80 年代中期起, 开始了以智能化为基础的第五代计算机的研究。

作为第四代计算机的一个重要分支, 微型计算机(以下简称微型机)于 70 年代初诞生了。一方面是由于军事、空间及自动化技术的发展需要体积小、功耗低、可靠性高的计算机; 另一方面, 大规模集成电路技术的不断发展也为微型机的产生打下了坚实的物质基础。微型机(Microcomputer)与其它大、中、小型计算机的区别在于其中央处理器(Central Processing Unit—CPU)采用了大规模/超大规模集成电路技术, 使其集成在一块芯片上, 一般把微型机的 CPU 芯片称为微处理器(Micro Processor Unit——MPU)。

微型机的发展是与微处理器的发展同步的。20 多年来, 微处理器集成度几乎每隔两年增加一倍, 产品每 2~4 年更新换代一次, 现已进入第五代。各代的划分通常以 MPU 的字长和速度为主要依据。

(1) 第一代(1971~1973 年)4 位或低档 8 位微处理器 1971 年美国 Intel 公司研制成功的 4004 是集成度为 2000 个晶体管/片的 4 位微处理器。1972 年 Intel 公司推出低档 8 位的 8008 也属于第一代微处理器产品。

第一代微处理器的指令系统比较简单, 运算能力差、速度慢(基本指令的执行时间为 10~20 μ s), 但价格低廉。软件主要使用机器语言及简单的汇编语言。

(2) 第二代(1974~1978 年)中、高档 8 位微处理器 该微处理器问世后, 由于其体积小, 使用方便等受到用户的普遍欢迎, 众多公司纷纷研制相应的产品, 逐步形成以 Intel 公司、Motorola 公司、Zilog 公司产品为代表的三大系列微处理器。1973~1975 年, 中档微处理器以 Intel8080、Motorola 的 MC6800 为代表。1976~1978 年, 出现高档 8 位微处理器, 典型产品为 Intel8085、Z80 和 MC6809。

第二代微处理器比第一代有了较多的改进, 集成度提高 1~4 倍, 运算速度提高 10~15 倍, 指令系统相对比较完善, 已具有典型的计算机体系结构以及中断功能、直接存储器存取(DMA)功能。软件除汇编语言外, 还可使用 BASIC、FORTRAN 等高级语言。后期开始配上操作系统, 如 CP/M 操作系统, 它运用于以 8080A/8085A、Z80、MC6502 为 CPU, 并带有磁盘及各种外围设备的微型机系统。

(3) 第三代(1978~1981 年)16 位微处理器 由于超大规模集成电路工艺研制成功, 一块硅片上可集成 1 万个以上的晶体管, 微处理器及微型机从第二代发展为第三代。1978~1981 年间, 三大公司陆续推出 16 位微处理器芯片, 如 Intel8086 的集成度为 29000

晶体管/片, Z8000 为 17500 晶体管/片, MC68000 为 68000 晶体管/片。这些微处理器的基本指令执行时间约为 $0.15\mu s$ 。从各项性能指标看, 比第二代微处理器提高了很多, 已达到或超过原来中、低档小型机的水平。用这些芯片组成的微型机有丰富的指令系统、多级中断系统、多机处理系统、段式存储器管理以及硬件乘除运算等。除此以外, 还配备了功能较强的系统软件。为方便原 8 位机用户, Intel 公司很快推出 8088, 其指令系统完全与 8086 兼容, 内部结构仍为 16 位, 而外部数据总线是 8 位。IBM 公司成功地以 8088 为 CPU 组成 IBM PC、PC/XT 等准 16 位机, 由于其性能价格比高, 很快占领了世界市场。此后, Intel 公司在 8086 基础上研制出性能更优越的 16 位微处理器芯片 80286, 以 80286 为 CPU 组成的 IBM PC/AT 机为高档 16 位机。

微型机发展的另一条途径是将已流行的 16 位小型计算机微型化。例如美国 DEC 公司将 PDP-11/20 微型化为 LSI-11, 将中档 PDP-11/34 微型化为 LSI-23, 又如 NOVA 机微型化为 Micro NOVA 等等。

(4) 第四代(1981~1992 年)32 位微处理器 1983 年, Zilog 公司推出 32 位 Z80000; 1984 年, Motorola 公司推出 MC68020, 接着又推出 MC68030/MC68040。以 MC68000 系列微处理器组成的微型机有 APPLE 公司的 Macintosh。

1985 年, Intel 公司推出了 32 位微处理器芯片 80386。80386 有两种结构: 80386SX 和 80386DX, 这两者的关系类似于 8088 和 8086 的关系。80386SX 内部结构为 32 位, 外部数据总线为 16 位, 采用 80287 作为协处理器; 80386DX 内部结构与外部数据总线皆为 32 位, 采用 80387 作为协处理器。

1989 年, Intel 公司在 80386 基础上研制出新一代 32 位微处理器芯片 80486。它相当于把 80386、80387 及 8KB 高速缓冲存储器集成在一块芯片上, 性能比 80386 大大提高。

(5) 第五代(1993 年以后)64 位高档微处理器 1993 年 3 月, Intel 公司推出 64 位 Pentium 微处理器芯片, 它的外部数据总线为 64 位, 工作频率为 66MHz, 以它为 CPU 的 Pentium 机是一种 64 位高档微型机。IBM、APPLE 和 Motorola 三公司合作生产的 Power PC 芯片是又一种优异的 64 位微处理器芯片, 以它为 CPU 的微型机有 Power Macintosh 等。

新一代高性能 PentiumPro 微处理器已于 1995 年进入商业领域, 1997 年以来, 更高性能的 PentiumII 机正作为主流机被广泛使用, PentiumIII 型微处理器即将面市。

当今, 微处理器和微型机正在向着更微型化、更高速、更廉价和多图形、超媒体等更强功能的方向发展。其结果, 一方面各种便携式微型机(笔记本微型机、膝上微型机、掌上微型机等)将大量涌现; 另一方面将超级微型机和巨型计算机技术紧密结合、融为一体的“微巨机”也将不久问世。

1.1.2 微型计算机的应用领域

微型机的诞生与发展, 极大地促进了计算机应用的日益广泛和深入。它以极高的性能价格比、性能体积比和极大的使用方便性、灵活性, 很快就赢得了广阔的市场, 使计算机迅速推广应用到国防事业和国民经济的各个行业、各个领域, 引起了社会、经济的巨大变革。今天, 计算机不仅早已进入人们的工作间、办公室, 而且已经开始进入千家万户, 正在改变着人们的工作、学习和生活习惯。归纳起来, 微型机的应用主要有以下几个方面:

(1) 科学计算与数据处理 这是最原始,也是占比最大的计算机应用领域。在科学研究、工程设计和社会经济规划管理中,存在大量复杂的数学计算问题,如卫星轨道的计算、大型水坝的设计、航天测控数据的处理、中长期天气预报、地质勘探与地震预测、社会经济发展规划的制定等,常常需要进行几十阶微分方程组、几百个线性联立方程组和大型矩阵的求解运算,没有计算机是不可设想的。利用计算机则可快速得到较理想的结果。

(2) 生产与试验过程控制 在工农业、国防、交通等领域,利用计算机对生产和试验过程进行自动实时监测、控制和管理,可提高效率,提高质量,降低成本,缩短周期。

(3) 自动化仪器、仪表及装置 在仪器、仪表及装置中使用微处理器或微型机,可明显增强功能,提高性能,减小重量和体积。

(4) 信息管理与办公自动化 现代企事业单位和政府、军队各部门需要管理的内容很多,如财务管理、人事档案管理、信息资料管理、仓库材料管理、生产计划管理、信贷业务管理、购销合同管理等。采用计算机和目前迅猛发展的计算机网络技术,可实现信息管理的自动化和办公自动化、无纸化。

(5) 计算机辅助设计 在航空航天器结构设计、建筑工程设计、机械产品设计和大规模集成电路设计等复杂设计活动中,为了提高质量,缩短周期,提高自动化水平,目前普遍借助计算机进行设计,即计算机辅助设计(Computer Aided Design——CAD)。CAD技术发展迅速,应用范围不断拓宽,目前又派生出计算机辅助测试(Computer Aided Test——CAT)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture——CAM)和将设计、测试制造融为一体的计算机集成制造系统(Computer Integration and Manufacture System——CIMS)等新的技术分支。

(6) 计算机仿真 在对一些复杂的工程问题和复杂的工艺过程、运动过程、控制行为等进行研究时,在数学建模的基础上,用计算机仿真的方法对相关的理论、方法、算法和设计方案进行综合、分析和评估,可以节省大量的人力、物力和时间。用计算机构成的模拟训练器和虚拟现实环境对宇航员和飞机、舰艇驾驶员进行模拟训练,也是目前培训驾驶员常用的办法。在军事研究领域,目前也常用计算机仿真的方法来代替真枪实弹、真兵演练的攻防对抗军事演习。

(7) 人工智能 人工智能是用计算机系统来模拟人类某些智能行为的新兴学科技术,它包括声音、图像、文字等模式识别,自然语言理解,问题求解,定理证明,程序设计自动化和机器翻译、专家系统等。

(8) 文化、教育、娱乐和日用家电 计算机辅助教学(Computer Aided Instruction——CAI)早已成为国内外高等教育中一种重要的教学手段。目前,它已进一步从大学的殿堂走进中、小学和幼儿教育的领地,甚至进入家庭教育。今天电影、电视片的设计、制作,多媒体组合音像设备的推出,许多全自动、半自动“家电”用品的出现,以至许多智能型儿童小玩具,无一不是微型机在发挥着作用,显示出奇功。

1.2 计算机的运算基础

计算机在进行数的计算和处理加工时,内部使用的是二进位计数制(简称为二进制(Binary)),这是因为二进制数在电子元器件中容易实现、容易运算。由于人们最熟悉的还是十进制,因此绝大多数计算机的终端都能够接受和输出十进制的数字。此外,为理解和

书写方便,还常常使用八进制和十六进制,但它们最终都要转化为二进制后才能在计算机内部存储和加工。本节将介绍这几种常用进制制以及它们之间的相互转换,同时也介绍二进制数在计算机中的不同表示方法和运算方法。

1.2.1 进位计数制

1. 十进制

其主要特点是:

- 1) 它有十个不同的数码(或称数符号): 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9;
- 2) 其基数为“10”,所以这种计数制称为十进制;
- 3) 按“逢十进一”的规则计数。

同一个数码在不同的数位,所代表的数值大小不同。例如 666.66 这个数,小数点左边第一位“6”代表个位,其值为 6×10^0 ; 左边第二位“6”代表十位,其值为 6×10^1 ; 左边第三位“6”代表百位,其值为 6×10^2 ; 小数点右边第一位“6”,其值为 6×10^{-1} ; 右边第二位“6”,其值为 6×10^{-2} 。因此这个十进制数可以写成

$$66.66 = 6 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

2. 二进制

其主要特点是:

- 1) 它有两个不同的数码,即“0”和“1”;
- 2) 其基数为“2”,所以这种计数制称为二进制;
- 3) 按“逢二进一”的规则计数。例如对十进制数来说, $1+1=2$; 而对二进制数,则 $1+1=(10)_2$, 这里按逢二进一,结果为 $(10)_2$ 。

同一个数,在该数不同位置的数码代表不同的数值。例如把现有一个二进制数 $(1111.11)_2$ 化成十进制数时,可以写成

$$(1111.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (15.75)_{10}$$

3. 八进制

其主要特点是:

- 1) 它有 8 个不同的数码: 0,1,2,3,4,5,6,7;
- 2) 其基数是 8,所以这种计数制称为八进制;
- 3) 按“逢八进一”的规则计数。不同的数位,数码所表示的值是不同的。例如,八进制数 $(474)_8$ 化成二进制数时,可以写成

$$(474)_8 = 4 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 4 \times 8^0 = 256 + 56 + 4 = (316)_{10}$$

由于数 8 与数 2 之间的关系为 $8^1 = 2^3$, 因此,1 位八进制数相当于 3 位二进制数,它们之间的关系是对应的。

根据这种对应关系,二进制与八进制之间的转换十分简单。例如,有一个二进制数 $(10100101.01011101)_2$,若将它转换为八进制数,只需将它从小数点开始,分别向左和向右每 3 位分为一组,每组用相应的一位八进制数表示即可。

$$(10100101.01011101)_2 = (245.272)_8$$

其中,小数点左边不足 3 位的,应在其左边加 0; 小数点右边不足 3 位的,应在其右边加 0,以凑成 3 位一组。

将八进制数转换为二进制数的过程恰好与上述过程相反, 只需将每一位八进制数转换成相应的 3 位二进制数。

例如, 将八进制数 $(175.206)_8$ 转换为二进制数

1	7	5	.	2	0	6
↓	↓	↓		↓	↓	↓
001	111	101		010	000	110

所以 $(175.206)_8 = (1111101.01000011)_2$

4. 十六进制

其主要特点是:

1) 它有十六个不同的数码: 0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F。其中 $0_{10} = 0_{16}$ 、 $1_{10} = 1_{16}$ 、 $2_{10} = 2_{16}$ 、...、 $9_{10} = 9_{16}$ 、 $10_{10} = A_{16}$ 、 $11_{10} = B_{16}$ 、 $12_{10} = C_{16}$ 、 $13_{10} = D_{16}$ 、 $14_{10} = E_{16}$ 、 $15_{10} = F_{16}$ 。

2) 其基数为十六, 所以这种计数制称为十六进制。

3) 按“逢十六进一”的规则计数。不同的数位、数码表示的值是不同的。

例如, 十六进制数 $(9B4.4)_{16}$ 化成十进制数时, 可以写成

$$(9B4.4)_{16} = 9 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 4 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} = (2484.25)_{10}$$

由于数 16 与数 2 之间的关系为 $16^1 = 2^4$ 。1 位十六进制数相当于 4 位二进制数。因此, 十六进制数与二进制数之间的转换可以用类似于八进制数与二进制数之间的转换方法来实现。例如, 二进制数 $(1111011011.100101011)_2$ 可以用以下方法转换为十六进制数:

0011	1101	1011	.	1001	0101	1000
↓	↓	↓		↓	↓	↓
3	D	B	.	9	5	8

结果为 $(1111011011.100101011)_2 = (3DB.958)_{16}$

十六进制数在计算机数的表示中比较常用, 其原因是:

- 十六进制数与二进制数之间的转换十分方便;
- 计算机的字长一般都是 8 的倍数。字长为 8 位, 可用两位十六进制数表示, 字长为 16 位的, 可用四位十六进制数表示, 书写较短, 便于阅读。

为了区别各种进位计数制, 可在数的右下角注明进位计数制, 或者在数字后面加一字母。如 B(Binary)表示二进制; O(Octal)表示八进制; D(Decimal)或不带字母表示十进制; H(Hexadecimal)表示十六进制。

1.2.2 二进制与十进制之间的转换

二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换方法十分简单, 在前面已经做了介绍, 下面仅介绍二进制数与十进制数之间的转换方法。用类似的方法可以实现八进制数与十进制数之间、十六进制数与十进制数之间的转换。

1. 将十进制整数转换为二进制整数

【例 1-1】有一个十进制整数 45, 把它转换为二进制整数。

$$\text{设 } (45)_{10} = (B_n B_{n-1} \cdots B_1 B_0)_2$$

此式可以写成下列的展开形式:

$$(45)_{10} = (B_n B_{n-1} \cdots B_1 B_0)_2$$

$$\begin{aligned}
 &= B_n \times 2^n + B_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + B_1 \times 2^1 + B_0 \times 2^0 \\
 &= 2 \times (B_n \times 2^{n-1} + B_{n-1} \times 2^{n-2} + \cdots + B_1 \times 2^0) + B_0
 \end{aligned}$$

等式两边同时除以 2, 则得

$$\frac{45}{2} = 22 + \frac{1}{2} = (B_n \times 2^{n-1} + B_{n-1} \times 2^{n-2} + \cdots + B_1) + \frac{B_0}{2}$$

由于等式两边整数与小数必须对应相等, 所以可得 $B_0=1$, 它正是 $45/2$ 的余数。

再将上式写成

$$\frac{45}{2} = \frac{B_0}{2} + 2 \times (B_n \times 2^{n-2} + B_{n-1} \times 2^{n-3} + \cdots + B_2) + B_1$$

$$\text{即: } \frac{45-1}{2} = 22 = 2 \times (B_n \times 2^{n-2} + B_{n-1} \times 2^{n-3} + \cdots + B_2) + B_1$$

同样将等式两边除以 2, 可得 $B_1=0$, 它是 $22/2$ 的余数。

用类似的方法继续下去, 可求出 $B_2, B_3, \dots, B_{n-1}, B_n$, 整个过程如下:

2	45	余数=1= B_0
2	22	余数=0= B_1
2	11	余数=1= B_2
2	5	余数=1= B_3
2	2	余数=0= B_4
2	1	余数=1= B_5
2	0	以下余数为0

$$\text{故 } (45)_{10} = (B_5 B_4 B_3 B_2 B_1 B_0)_2 = (101101)_2$$

上述结果也可以用下式来验证, 即

$$(101101)_2 = 2^5 + 2^3 + 2^2 + 2^0 = 45$$

以上将十进制整数化为二进制整数的方法称为余数法。这种方法就是把十进制整数不断地用 2 去除, 将所得到的余数 0 或 1 依次记为 $B_0, B_1, B_2, \dots$, 一直到商是 0 为止, 并将最后一次所得的余数记为 B_n 。那么 $B_n B_{n-1} \cdots B_1 B_0$, 即为该整数的二进制表示。

2. 将二进制整数转换为十进制整数

【例 1-2】 $(1111100111)_2 = 1 \times 2^9 + 1 \times 2^8 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 999$

3. 将十进制小数转换为二进制小数

【例 1-3】 将十进制小数 0.32 转换成二进制小数。

设 $(0.32)_{10} = (0.B_1 B_2 \cdots B_{(m-1)} B_m)_2$

$$= B_1 \times 2^{-1} + B_2 \times 2^{-2} + \cdots + B_{(m-1)} \times 2^{-(m-1)} + B_m \times 2^{-m}$$

同样, 要确定 $B_1, B_2, \dots, B_m$ 等系数。

将上述两边各乘以 2, 则得

$$0.32 \times 2 = 0.64 = B_1 \times 2^0 + B_2 \times 2^{-1} + \cdots + B_{(m-1)} \times 2^{-(m-2)} + B_m \times 2^{-(m-1)}$$

可以看出, 两个带小数点的数如果相等, 必然是整数部分与整数部分相等, 小数部分与小数部分相等。由十进制的 0.64 可知, 该数二进制的整数部分应是 0, 可以判定 $B_1=0$, 于是上式可写成

$$0.64 = B_2 \times 2^{-1} + B_3 \times 2^{-2} + \cdots + B_{(m-1)} \times 2^{-(m-2)} + B_m \times 2^{-(m-1)}$$

同样, 用 2 乘上面等式的左右两边即得

$$1.28 = B_2 \times 2^0 + B_3 \times 2^{-1} + \cdots + B_{(m-1)} \times 2^{-(m-3)} + B_m \times 2^{-(m-2)}$$

0.32	
$\times 2$	
0.64	整数=0, 即 $B_1=0$
$\times 2$	
1.28	整数=1, 即 $B_2=1$
$\times 2$	
0.56	整数=0, 即 $B_3=0$
$\times 2$	
1.12	整数=1, 即 $B_4=1$
$\vdots$	