

21世纪高等院校计算机教材系列

微型计算机原理 及应用技术

●朱金钧 麻新旗 等编著

第 2 版



购书可获得增值回报
提供教学用电子教案

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等院校计算机教材系列

微型计算机原理及应用技术

第 2 版

朱金钧 麻新旗 等编著



机械工业出版社

本书以 Intel 86 系列微处理器为背景,从微处理器的角度介绍了 Intel 86 系列微处理器的结构、工作原理、指令系统及汇编语言、程序设计等内容;从微型机系统组成的角度介绍了存储器结构、中断系统和接口技术;从应用角度介绍了典型的微型机系统及工业 PC 系统,并引入适量的可直接引用的编程实例。采用软硬件结合的方法,全面介绍了微型计算机系统的组成原理及应用。

本书内容丰富,注重系统性、先进性和实用性,可作为高等学校计算机及电类有关专业教材或技术人员培训教材,也适合于广大从事微型机科研、生产、教学和应用开发的科技人员自学或参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机原理及应用技术/朱金钧等编著. —2 版.

—北京:机械工业出版社,2005.7

(21 世纪高等院校计算机教材系列)

ISBN 7-111-10801-9

I. 微... II. 朱... III. 微型计算机—高等学校—教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 046771 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 胡毓坚

责任编辑: 时 静

责任印制: 石 冉

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 7 月第 2 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm $\frac{1}{8}$ ·22.25 印张·549 千字

18001—23000 册

定价: 31.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话: (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

出版说明

计算机技术是一门迅速发展的现代科学技术，它在经济建设与社会发展中，发挥着非常重要的作用。近年来，我国高等院校十分注重人才的培养，大力提倡素质教育、优化知识结构，提倡大学生必须掌握计算机应用技术。为了满足教育的需求，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校计算机教材系列”。

在本套系列教材的组织编写过程中，我社聘请了各高等院校相关课程的主讲老师进行了充分的调研和细致的研讨，并针对非计算机专业的课程特点，根据自身的教学经验，总结出知识点、重点和难点，一并纳入到教材中。

本套系列教材定位准确，注重理论教学和实践教学相结合，逻辑性强，层次分明，叙述准确而精炼，图文并茂，习题丰富，非常适合各类高等院校、高等职业学校及相关院校的教学，也可作为各类培训班和自学用书。

参加编写本系列教材的院校包括：清华大学、西安交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、北京化工大学、北京科技大学、山东大学、首都经贸大学等。

机械工业出版社

前 言

微型机由于具有体积小、重量轻、耗电少、可靠性高、结构灵活和价格低廉等优点,从 20 世纪 70 年代一出现就受到了广泛欢迎,得到了飞速发展,把计算机的应用带入了一个全新的时代。目前,计算机已应用到工农业生产、国防、科研、教育、管理以及人类日常生活等几乎所有领域,特别是随着以微型机为主要基础的计算机网络的深入应用,计算机已成为人类社会生活中不可缺少的工具。

“微机计算机原理及应用”是高等学校计算机及相关专业一门非常重要的专业基础课,同时也是一门发展迅速、与实践结合紧密的学科。以 Intel8086 系列 CPU 为核心的 16 位~32 位微型计算机系统是目前使用最广泛、代表性最强的主流机型,本书以 8086 系统为基础,系统地讲述微型机的 CPU 结构、指令系统与汇编语言程序设计、存储器、接口部件与总线等一系列技术。书中大部分内容是作者多年来从事教学实践和科学研究的工作总结,同时对大量有关微型机技术和应用的资料进行了提炼和综合。本书力求做到以下几点:(1)重点突出、层次清楚、由浅入深、循序渐进。例如在第 1 章中补充了计算机组织与结构的核心内容,为后续章节的学习奠定了基础,便于读者顺利地学习微型机的工作原理。全书共分 9 章,每一章均可作为一个相对独立的层次,从计算机基础知识到计算机系统组成,从 CPU 到指令系统再到程序设计,从接口技术到计算机应用,引导读者由浅入深、循序渐进地学习。(2)理论与实际相结合。计算机科学本身是一门软硬件结合的科学,微型机原理与应用更是如此,需要经过大量的实践才能掌握,如汇编语言程序设计、接口设计等,本书给出了一些可以直接引用的编程实例和接口设计实例,便于读者学习和使用。(3)既强调基础,又突出先进性。本书以 16 位的 8086CPU 作为重点,追踪 32 位系列主流高档微机的技术发展,介绍了从 80286 到 Pentium 的结构和特点,其中较详细地讲述了目前广泛应用在工业控制领域的 80386CPU 的结构和指令系统。(4)在文字叙述上力求语言精练、通俗易懂,并将书中不能详述的内容收入附录,便于读者查询。

本书可以作为高等学校计算机及相关专业“微机计算机原理及应用”课程的教材,也可作为从事微型机应用开发的工程技术人员的自学和参考书。全书由朱金钧统稿,第 1、2、3 章由麻新旗编写,第 4、5 章由张会莉编写,第 6 章和附录由周万珍编写,第 7、9 章由朱金钧、朱薇编写,第 8 章由薛增涛编写。

本书在编写过程中得到了沙占友、王建霞、乔世权、刘希岭、侯洁、汤景军、张智慧等同志的帮助,在此深表谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 计算机基础知识	1
1.1 计算机发展概述	1
1.1.1 计算机发展概况	1
1.1.2 计算机的主要特点	2
1.1.3 计算机的分类	2
1.1.4 计算机的应用	3
1.1.5 计算机技术的发展趋势	3
1.2 运算基础	3
1.2.1 进位计数制	4
1.2.2 二进制编码	7
1.2.3 带符号数的表示	8
1.2.4 数的定点和浮点表示	11
1.3 计算机系统的组成及程序执行过程	13
1.3.1 计算机硬件系统组成及程序执行过程	13
1.3.2 计算机的软件系统	17
1.3.3 微型计算机系统的组成及特点	18
1.3.4 微型计算机系统的主要技术指标	19
1.4 习题与思考	21
第 2 章 8086 微处理器及其系统	23
2.1 8086 微处理器简介	23
2.1.1 8086 的编程结构	23
2.1.2 8086 的引脚及其功能	27
2.2 8086 系统的存储器组织及 I/O 组织	30
2.2.1 8086 系统的存储器组织	30
2.2.2 8086 系统的 I/O 组织	32
2.3 8086 系统的工作模式	33
2.3.1 最小模式和最大模式的概念	33
2.3.2 最小模式系统	33
2.3.3 最大模式系统	36
2.4 8086 的操作时序	39
2.4.1 复位操作及时序	39
2.4.2 最小模式下的总线读周期	40
2.4.3 最小模式下的总线写周期	41
2.4.4 最大模式下的总线读周期	43
2.4.5 最大模式下的总线写周期	44

2.4.6	最小模式下的总线请求/响应周期	45
2.4.7	最大模式下的总线请求/响应周期	46
2.5	习题与思考	46
第3章	从 8086 到 Pentium 系列微处理器的技术发展	48
3.1	80286 微处理器简介	49
3.1.1	80286 的特点及相对 8086 体系结构的增强点	49
3.1.2	80286 的保护模式	49
3.2	80386 微处理器	50
3.2.1	80386 的特点及其体系结构	50
3.2.2	80386 引脚的功能	52
3.2.3	80386 的寄存器组	53
3.2.4	80386 的工作模式	56
3.2.5	80386 的存储管理	57
3.2.6	80386 中断	59
3.3	80486 微处理器简介	60
3.3.1	80486 的主要特点	60
3.3.2	80486 的内部结构	61
3.4	Pentium 微处理器简介	64
3.4.1	Pentium 体系结构的特点	65
3.4.2	Pentium 相对 80486 体系结构的增强点	67
3.4.3	Pentium II 微处理器	68
3.4.4	Pentium III 微处理器	68
3.4.5	Pentium 4 微处理器	69
3.5	习题与思考	70
第4章	指令系统	71
4.1	8086/8088 指令系统概述	71
4.1.1	8086/8088 指令系统的特点	71
4.1.2	8086/8088 指令的格式	72
4.1.3	8086/8088 指令的寻址方式	73
4.2	8086/8088 指令系统	78
4.2.1	数据传送指令	78
4.2.2	算术运算指令	83
4.2.3	逻辑运算指令	90
4.2.4	移位指令	91
4.2.5	字符串操作指令	94
4.2.6	转移指令	98
4.2.7	处理器控制指令	103
4.2.8	输入输出指令	104
4.2.9	中断指令	104
4.3	从 80286 到 Pentium 系列微处理器的指令系统	105
4.3.1	80286 的增强和新增指令	105
4.3.2	80386 指令系统详解	107

4.3.3	80486 的增强和新增指令	113
4.3.4	Pentium 系列微处理器的新增指令	114
4.4	习题与思考	115
第 5 章	汇编语言程序设计	118
5.1	宏汇编语言的基本语法	118
5.1.1	常数、变量和标号	118
5.1.2	运算符与表达式	119
5.2	伪指令	122
5.2.1	伪指令语句的格式	123
5.2.2	常用伪指令	123
5.3	宏指令	131
5.4	汇编语言程序的结构	133
5.4.1	汇编语言程序的基本结构	133
5.4.2	汇编语言与 DOS 之间的接口	134
5.5	DOS 系统功能调用	135
5.6	汇编语言程序设计方法	141
5.6.1	汇编语言程序设计的步骤	141
5.6.2	汇编语言程序设计的基本方法	142
5.6.3	汇编语言程序设计综合举例	155
5.7	软件调试技术	163
5.7.1	调试软件 DEBUG 简介	163
5.7.2	软件调试的基本方法	166
5.8	习题与思考	168
第 6 章	微机存储器系统	172
6.1	概述	172
6.1.1	存储系统的层次结构	172
6.1.2	存储器的分类	174
6.1.3	存储器的基本组成	175
6.1.4	存储器的技术指标	176
6.2	随机读写存储器	177
6.2.1	静态 RAM	177
6.2.2	动态 RAM	179
6.3	半导体只读存储器	182
6.3.1	掩膜式只读存储器 ROM	182
6.3.2	一次性可编程的只读存储器 PROM	183
6.3.3	可编程、可擦除的只读存储器——EPROM	183
6.3.4	电擦除可编程的只读存储器 EEPROM	184
6.4	存储器与 CPU 的连接	186
6.4.1	存储器的工作时序	186
6.4.2	存储器与 CPU 连接时要注意的问题	188
6.4.3	常用的译码电路	189

6.4.4 存储器与 CPU 的连接举例	190
6.5 习题与思考	195
第 7 章 输入/输出和中断	196
7.1 外设接口的一般结构	196
7.1.1 数据信息	196
7.1.2 状态信息	196
7.1.3 控制信息	197
7.2 CPU 与外设交换数据的方式	197
7.2.1 程序控制传递方式	197
7.2.2 DMA(直接存储器存取)传递方式	200
7.3 中断技术	201
7.3.1 中断概述	201
7.3.2 中断过程	202
7.3.3 中断优先权	203
7.4 8086/8088 的中断系统	204
7.4.1 中断结构	204
7.4.2 内部中断——软件中断	205
7.4.3 外部中断——硬件中断	206
7.4.4 中断的优先权及中断响应	207
7.5 8259A 可编程中断控制器	208
7.5.1 8259A 的主要功能	208
7.5.2 8259A 结构与功能原理	209
7.5.3 8259A 的编程	211
7.5.4 8259A 的工作方式	215
7.5.5 由多片 8259A 组成的主从式中断系统	217
7.5.6 8259A 的编程实例	218
7.6 8237DMA 控制器	222
7.6.1 主要功能	222
7.6.2 8237 的结构和工作原理	223
7.6.3 8237 的编程和应用举例	231
7.7 习题与思考	233
第 8 章 接口技术与常见接口芯片的应用	235
8.1 接口概述	235
8.1.1 接口的功能	235
8.1.2 接口与系统的连接	236
8.2 并行通信和并行接口芯片	237
8.2.1 并行通信的概念	237
8.2.2 可编程并行通信接口芯片 8255A 的应用	238
8.3 串行通信和串行接口芯片	259
8.3.1 串行通信的概念	260
8.3.2 可编程串行通信接口芯片 8251A 的应用	264

8.4 计数器/定时器接口电路	276
8.4.1 计数器/定时器工作原理	277
8.4.2 可编程计数器/定时器芯片 8253 的应用	278
8.5 模拟通道接口	290
8.5.1 概述	290
8.5.2 数/模(D/A)转换器	290
8.5.3 模/数(A/D)转换器	295
8.6 习题与思考	307
第9章 微机总线技术	310
9.1 微机总线与接口标准简介	310
9.1.1 微机总线与接口标准的基本概念	310
9.1.2 微机总线的组成、总线规范和性能指标	312
9.2 微机系统总线	313
9.2.1 PC/XT 总线	313
9.2.2 ISA 总线	313
9.2.3 EISA 总线	315
9.2.4 PCI 局部总线	316
9.2.5 AGP 总线	321
9.3 微机常用接口标准	323
9.3.1 ATA 接口标准	323
9.3.2 SCSI 接口标准	324
9.3.3 USB 接口标准	326
9.3.4 IEEE 1394 接口标准	331
9.3.5 VXI 总线接口标准	333
9.4 习题与思考	335
附录	336
附录 A BIOS 功能调用	336
附录 B MC-DOS(INT21H)功能调用	340
附录 C ASCII 码编码表	345

第 1 章 计算机基础知识

电子数字计算机是 20 世纪最重大的科技成就之一。自 1946 年第一台电子计算机问世以来,计算机得到迅速发展,并已广泛应用于工农业生产、科学研究、国防及人们日常工作和生活的各个领域。伴随人类进入 21 世纪,以高科技为支撑的信息化社会已经到来,以“信息”为主导的新兴产业正在全球经济领域掀起一场空前的革命。“知识”是这场革命的直接推动力,而计算机及其应用技术则是知识经济的基础,掌握计算机知识和应用能力的多少,已成为衡量现代人文化水平高低的一个重要标志。随着信息化时代的到来,计算机技术的进一步发展和应用必将对社会发展和人类文明产生更大的促进作用,对社会政治、经济、文化和人类生活的各个方面产生巨大而深远的影响。

1.1 计算机发展概述

1.1.1 计算机发展概况

“计算”是人类生活中的一项重要活动。人类祖先在史前时期就知道用石块和贝壳计数。随着人类文明的发展,人类创造了简单的计算工具,如我国在唐宋时期就开始使用算盘。经过长期艰苦的努力和探索,科学家们发明了机械式计算器、继电器式计算机,在 1946 年终于研制成功第一台电子数字计算机 ENIAC。

在推动计算机发展的诸多因素中,电子器件的发展是最活跃的因素。因此,人们常常把计算机的发展以电子器件为标志进行分代:

第一代(1945~1958 年):电子管计算机。采用水银延迟线作内存,磁鼓作外存。体积大、耗电多、运算速度慢。最初只能使用二进制表示的机器语言,到 20 世纪 50 年代中期才出现汇编语言。这个时期,计算机主要用于科学计算和军事方面,应用很不普遍。

第二代(1958~1964 年):晶体管计算机。内存主要采用磁芯,外存大量采用磁盘,输入输出设备有了较大改进。体积显著减小、可靠性提高、运算速度可达每秒百万次。软件方面出现了高级程序设计语言和编译系统。计算机开始广泛应用于以管理为目的的信息处理。

第三代(1964~1971 年):固体组件计算机。主要采用中、小规模集成电路。运算速度达每秒千万次,可靠性大大提高,体积进一步缩小,价格大大降低。软件方面进步很大,有了操作系统,开展了计算机语言的标准化工作并提出了结构化程序设计方法,出现了计算机网络。计算机应用开始向社会化发展,其应用领域和普及程度迅速扩大。

第四代(1971 年至今):大规模集成电路计算机。大规模集成电路的出现使计算机发生了巨大的变化,特别是出现了微处理器,从而推出了微型计算机。微型计算机的出现和发展是计算机发展史上的重大事件,使得计算机在存储容量、运算速度、可靠性和性能价格比等方面都比上一代计算机有了较大突破。各种系统软件、应用软件大量推出,功能配置空前完善,充分发挥了计算机的功能,把计算机的发展和应用带入了一个全新的时代,计算机已经应用到几

乎所有的领域,成为人类社会活动中不可缺少的工具。

微型计算机的发展过程,也就是微处理器的发展过程,自1971年第一个微处理器出现以来,微处理器的发展已经经历了4代,目前正处在第5代微处理器发展阶段,每一代的性能都提高了近一个数量级。几乎每两年就有一个质的变化,目前仍在向多功能、多媒体方向发展。

1971~1973年为第一代微处理器,代表产品为Intel4004、8008。前者为4位机,后者为8位机。集成度约为2000等效晶体管/片,时钟频率为1MHz,指令周期为20 μ s。

1973~1975年为第二代微处理器,代表产品有Intel8080、M6800,字长为8位,集成度为5000管/片,时钟频率为2MHz,指令周期为2 μ s。

1975~1977年为第三代微处理器,代表产品有Intel8085、Z80、M6802等,字长为8位,集成度为1万管/片,时钟频率为2.5~5MHz,指令周期为1 μ s。

1978~1980年为第四代微处理器,代表产品有Intel8086、M6809、Z8000等,字长为16位,集成度约为3万管/片,时钟频率为5MHz,指令周期小于0.5 μ s。

1980年之后为第5代微处理器,代表产品有80286、Motorola68010等,字长为16位,集成度达10万管/片,时钟频率为10MHz,指令周期约为0.2 μ s。1983年之后又出现了Intel80386、Motorola68020等微处理器,字长为32位,时钟频率为16MHz以上,集成度高达15~50万管/片,指令周期为0.1 μ s。其后又出现了Intel80486、Pentium系列,集成度达数百万管/片以上,时钟频率高达上千兆赫兹,指令周期只有几~几十纳秒。在这些处理器的芯片上已经包含大容量的高速缓冲存储器(CACHE),原来属于大型机的存储管理技术已经移植到芯片上。

1.1.2 计算机的主要特点

电子计算机是一种不需人的直接干预,能够高速、自动地进行算术和逻辑运算的电子装置。存储程序与程序控制是计算机的重要工作原则,是它能够高速自动运算的基础。

所谓存储程序,是把计算过程表示为由许多条命令(指令)组成的命令序列(程序),与数据一起预先存入计算机的存储器内。只要发出运行命令,计算机就会按照规定的顺序一条一条地取出指令和执行指令,自动地完成预定的信息处理任务。由于在程序执行过程中不需要人的干预,因此,计算机能自动高速地执行程序。人们可以把任何信息处理任务分解成一系列基本的算术和逻辑操作,并按照执行的先后顺序把它们组成程序,存入计算机并使之执行,因此计算机可以完成任何信息处理任务,具有很强的通用性。

计算机处理的各种符号,包括数值、文字、符号、图像、声音等,都通过数字化编码技术,用数字量表示,所以计算机运算非常准确。同时,计算机可以对这些数字量进行各种大小关系的比较判断,并根据比较结果决定下一步的处理,这就是“条件转移”概念,即计算机的逻辑性。

综上所述,计算机具有五大特点:自动性、高速性、准确性、逻辑性和通用性。

1.1.3 计算机的分类

电子计算机的分类方法多种多样。从原理上,可分为处理连续变化信号的模拟计算机和处理离散信号的数字计算机;从用途上,可分为专用计算机和通用计算机。我们现在常说的“计算机”实际上是指通用电子数字计算机,并可分成巨型机、大型机、小型机和微型机等。微型

机按字长又可分为4位、8位、16位、32位和64位机,按结构可分为位片机、单片机、单板机和微机系统等。

1.1.4 计算机的应用

计算机的应用形式和应用领域千变万化、日新月异,已深入到人类社会生活的各个领域,从国防技术、航空航天技术、核能技术,管理信息系统、科学研究、工业设计和仿真、生产过程控制、多媒体与信息高速公路技术、文化教育、医疗等,到智能仪表、家用电器等,无一不是计算机信息处理与控制的应用领域。按照计算机应用的性质和形式,可分为数值计算、数据处理(包括办公自动化、数据库应用系统)、生产自动化(包括过程控制、计算机辅助系统——如计算机辅助设计 CAD、辅助制造 CAM、辅助测试 CAT、辅助工程 CAE、计算机集成制造系统 CIMS 等)、计算机模拟、人工智能、计算机网络应用、远程教育等。

1.1.5 计算机技术的发展趋势

当今计算机的发展趋势主要有以下几方面:

1) 两极化。即巨型计算机和微型计算机。前者代表着计算机科学技术的发展水平,主要应用于大型领域如国防尖端技术、航空航天技术等。后者则反映了计算机的应用普及程度。多媒体技术是当前微型计算机研究的热点,并行处理则是巨型计算机的核心技术。

2) 多媒体技术。多媒体技术是将数值、文字、声音、图形、图像、视频等多种媒体信息进行综合处理的技术,是当前微型计算机研究和开发的热点,其中的关键技术是音频和视频数据的压缩/解压缩、多媒体数据的通信传输,以及各种多媒体信息设备的接口技术。

3) 网络化。网络技术是计算机技术与通信技术的结合,是今后计算机应用的主流。Internet 的迅速发展及广泛应用,使人类进入了信息化时代,信息的快速获取和共享已成为影响经济发展与社会进步的重要因素之一。

4) 智能化。应用人工智能技术,使计算机模仿人的推理、思维、联想、学习等功能,并具有声音识别、图像识别能力,在某程度上具备人的智能,这种智能计算机是未来计算机发展的总方向。

5) 非冯·诺依曼体系结构的计算机是现代计算机技术研究的另一个焦点。冯·诺依曼体系结构的“存储程序和程序控制”原理表现为“集中顺序控制”这一串行机制,已成为从根本上限制计算机性能提高的障碍。要从根本上提高计算机性能,就必须突破冯·诺依曼体系结构的限制,方法之一就是采用并行处理技术。

目前计算机科学家正在研究新一代计算机,如神经网络计算机、生物计算机、光子计算机等。

1.2 运算基础

计算机的基本功能是对数的运算和处理。计算机中,通过数字化编码技术,对所表示的数值、文字、符号及控制信息等进行数字编码,这种数字化表示方法不仅要适合于人的自然习惯,同时要满足机器中所用器件、线路的工作状态以及数据可靠传输与易于校验纠错等方面的要求。一个具有两种不同的稳定状态且能相互转换的器件,就可以用来表示一位二进制数,由于

表示二进制的器件易于制造且工作可靠,并且二进制数的运算规则也最简单,因此目前计算机中均采用二进制数来表示各种信息及进行信息处理。

1.2.1 进位计数制

按进位的方法进行计数称为进位计数制。数是客观事物的量在头脑中的反映,可用不同的数制来度量。同一个量用不同的数制度量的结果不同。在日常生活中,我们最熟悉、最常用的是十进制、七进制(星期)、十二进制和六十进制(时间)等。在计算机中,常用二进制和十六进制。

一个 R 进制数具有以下主要特点:

- 1) 具有 R 个不同的数字符号:0、1、2、……、R-1。
- 2) 逢 R 进一。

任一 R 进制数 S 可用其若干个数字符号的组合来表示,如 $a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$ (这种书写方法称为位置表示法),其中 n 为小数点前的位数, m 为小数点后的位数, a_i 是 R 进制的一个数字符号。R 称为基数。上述 R 进制数 S 可用多项式(称为按权展开式)表示为:

$$\begin{aligned} S &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1}\times R^{n-1} + a_{n-2}\times R^{n-2} + \cdots + a_1\times R^1 + a_0\times R^0 + a_{-1}\times R^{-1} + \cdots + a_{-m}\times R^{-m} \end{aligned}$$

显然,位置表示法中,每个数码 a_i 所代表的数值等于该数码乘以一个与所在数位有关的常数 R^i ,如 R^1, R^0, R^{-1}, R^{-2} 等,这些常数称为位权,简称“权”。显然,同一个数码所处位置不同,其权也不同,代表的数值大小也不同,这正是位置表示法的含义。

1. 十进制数

- 特点: 1) 具有十个不同的数字符号,即 0~9。
2) 逢十进一。

一个十进制数可以用它的按权展开式表示。例如:

$$(758.75)_{10} = 7\times 10^2 + 5\times 10^1 + 8\times 10^0 + 7\times 10^{-1} + 5\times 10^{-2}$$

其中用 $()_{10}$ 的形式表示括号中的数是十进制数,其他进制数也用类似的形式表达。

2. 二进制数

- 特点: 1) 具有二个不同的数字符号,即 0 和 1。
2) 逢二进一。

一个二进制数可以用它的按权展开式表示。例如:

$$\begin{aligned} (10110.101)_2 &= 1\times 2^4 + 0\times 2^3 + 1\times 2^2 + 1\times 2^1 + 0\times 2^0 + 1\times 2^{-1} + 0\times 2^{-2} + 1\times 2^{-3} \\ &= (22.625)_{10} \end{aligned}$$

3. 十六进制数

- 特点: 1) 具有十六个不同的数字符号,即 0~9 和 A~F。
2) 逢十六进一。

一个十六进制数可以用它的按权展开式表示。例如:

$$(1AF.4)_{16} = 1\times 16^2 + 10\times 16^1 + 15\times 16^0 + 4\times 16^{-1} = (431.25)_{10}$$

表 1-1 给出了上述三种进位计数制的对应关系。

表 1-1 三种数制对照表

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	9	1001	9
1	0001	1	10	1010	A
2	0010	2	11	1011	B
3	0011	3	12	1100	C
4	0100	4	13	1101	D
5	0101	5	14	1110	E
6	0110	6	15	1111	F
7	0111	7	16	10000	10
8	1000	8	17	10001	11

4. 各种数制之间的转换

1) 二进制、十六进制转换成十进制。采用按权展开式计算求和的方法,如前例。

2) 十进制转换成二进制、十六进制。整数部分采用除基取余法,小数部分采用乘基取整法。

【例 1-1】十进制数 22.625 转换为二进制数。

<p>整数部分: $2 \overline{)22}$</p> <p style="margin-left: 20px;">$2 \overline{)11} \quad \dots \text{余 } 0 \quad (\text{低位})$</p> <p style="margin-left: 20px;">$2 \overline{)5} \quad \dots \text{余 } 1$</p> <p style="margin-left: 20px;">$2 \overline{)2} \quad \dots \text{余 } 1$</p> <p style="margin-left: 20px;">$2 \overline{)1} \quad \dots \text{余 } 0$</p> <p style="margin-left: 20px;">$0 \quad \dots \text{余 } 1 \quad (\text{高位})$</p>	\downarrow	<p>小数部分: 0.625</p> <p style="margin-left: 20px;">$\times 2$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 20px;">$\underline{1}.25 \quad \dots \text{取整数 } 1 \quad (\text{高位})$</p> <p style="margin-left: 20px;">$\times 2$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 20px;">$\underline{0}.5 \quad \dots \text{取整数 } 0$</p> <p style="margin-left: 20px;">$\times 2$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 20px;">$\underline{1}.0 \quad \dots \text{取整数 } 1 \quad (\text{低位})$</p>
--	--------------	---

所以: $(22)_{10} = (10110)_2 \quad (0.625)_{10} = (0.101)_2$

故: $(22.625)_{10} = (10110.101)_2$

【例 1-2】十进制数 430.25 转换为十六进制数。

<p>整数部分: $16 \overline{)430}$</p> <p style="margin-left: 20px;">$16 \overline{)26} \quad \dots \text{余 } 14 \rightarrow E (\text{低位})$</p> <p style="margin-left: 20px;">$16 \overline{)1} \quad \dots \text{余 } 10 \rightarrow A$</p> <p style="margin-left: 20px;">$0 \quad \dots \text{余 } 1 \quad (\text{高位})$</p>	\downarrow	<p>小数部分: 0.25</p> <p style="margin-left: 20px;">$\times 16$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 20px;">$\underline{4}.0 \quad \dots \text{取整数 } 4$</p>
--	--------------	--

故: $(430.25)_{10} = (1AE.4)_{16}$

注意: ① 整数部分转换,每次只求整数商,将余数作为转换结果的一位,重复对整数商除基数,一直除到商为 0 为止。② 小数部分转换,每次把乘积的整数取走作为转换结果的一位,对剩下的小数继续进行乘法运算。对某些数可以乘到积的小数为 0(如上述两例),这种转换结果是精确的;对某些数(如 0.3)永远不能乘到积的小数为 0,这时要根据精度要求,取适当的结果位数即可,这种转换结果是不精确的。

3) 二进制与十六进制间的相互转换。因为 $2^4 = 16$,所以每一位十六进制数对应四位二进制数(参见表 1-1),因此,只要用四位二进制数代替对应的一位十六进制即可完成十六进制到二进制的转换。

例如：十六进制数 1 A E . 4
 ↓ ↓ ↓ ↓
 0001 1010 1110 . 0100

即 $1AE.4H = 110101110.01B$

反之，若要将二进制数转换为十六进制数，只要以小数点为分界，分别向左和向右每四位二进制位分为一组（若最高位或最低位不够四位则补0），对应转换为十六进制数即可。

例如：二进制数 110101110.01
 ↓
 0001 1010 1110 . 0100
 ↓ ↓ ↓ ↓
 十六进制数 1 A E . 4

即 $(110101110.01)_2 = (1AE.4)_{16}$

5. 二进制数的算术运算

二进制算术运算与十进制的运算方法基本相同，但在二进制运算时，逢二进位，借一当二。

【例 1-3】 $10100 + 1101 = 100001$

$$\begin{array}{r} 10100 \\ + 1101 \\ \hline 100001 \end{array}$$

【例 1-4】 $100001 - 10100 = 1101$

$$\begin{array}{r} 100001 \\ - 10100 \\ \hline 1101 \end{array}$$

【例 1-5】 $1101 \times 1011 = 10001111$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ \times 1011 \\ \hline 1101 \\ 1101 \\ 0000 \\ + 1101 \\ \hline 10001111 \end{array}$$

【例 1-6】 $11100 \div 101 = 101 \cdots 11$

$$\begin{array}{r} 101 \cdots \text{商} \\ 101 \overline{) 11100} \\ \underline{101} \\ 1000 \\ \underline{101} \\ 11 \cdots \text{余数} \end{array}$$

6. 二进制数的逻辑运算

逻辑运算又称为布尔运算，是计算机中二进制的基本运算。常用的逻辑运算有逻辑与运算(AND)、逻辑或运算(OR)、逻辑非运算(NOT)和逻辑异或运算(XOR)。其运算规则如下：

a	b	NOT a	NOT b	a AND b	a OR b	a XOR b
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0

【例 1-7】 $10100101 \text{ AND } 10001011 = 10000001$

$$\begin{array}{r} 10100101 \\ \text{AND } 10001011 \\ \hline 10000001 \end{array}$$

【例 1-8】 $10100101 \text{ OR } 10001011 = 10101111$

$$\begin{array}{r} 10100101 \\ \text{OR } 10001011 \\ \hline 10101111 \end{array}$$

【例 1-9】 $\text{NOT } 10100101 = 01011010$

【例 1-10】 $10100101 \text{ XOR } 10001011 = 00101110$

$$\begin{array}{r} \text{NOT } 10100101 \\ \hline 01011010 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10100101 \\ \text{XOR } 10001011 \\ \hline 00101110 \end{array}$$

1.2.2 二进制编码

如上所述,在计算机中,数是用二进制表示的。而计算机还应该能够识别和处理各种文字信息,如大小写英文字母、标点符号、运算符号等,这些符号又怎样表示呢?由于计算机的基本物理器件是具有两个状态的器件,所以各种文字信息也只能用若干位的二进制编码组合来表示。

1. 二进制编码的十进制数(BCD 码—Binary Coded Decimal)

因为二进制数实现容易、可靠,且运算规律简单,所以在计算机内部采用二进制数。但是,二进制数不直观,在计算机进行输入和输出与人交换信息时,通常还是采用十进制数。为了转换直观方便,要将十进制数用二进制编码来表示,这就是 BCD 码。

1 位十进制数需要用 4 位二进制编码,编码的表示方法很多,较常用的是 8421BCD 码,表 1-2 列出了 8421BCD 码和十进制数的对应关系。

表 1-2 BCD 编码表

十 进 制	8421BCD 码	十 进 制	8421BCD 码
0	0000	6	0110
1	0001	7	0111
2	0010	8	1000
3	0011	9	1001
4	0100	10	0001 0000
5	0101	11	0001 0001

BCD 码是十进制数,有 10 个不同的数字符号,且是逢十进位的;但它的每一位是用 4 位二进制编码来表示的,因此称为二进制编码的十进制数。BCD 码比较直观,例如十进制数 65 用 BCD 码书写为 01100101,BCD 码 01001001.0111 表示的十进制数为 49.7。

所以,只要熟悉了 BCD 码的 10 个编码,就可以很容易地实现十进制与 BCD 码之间的转换。

虽然 BCD 码是用二进制编码方式表示的,但它与二进制之间不能直接转换,要用十进制作为中间桥梁,即先将 BCD 码转换为十进制数,然后再转换为二进制数;反之亦然。

2. 字母与字符的编码

如上所述,字母和字符也必须按照特定的规则,用二进制编码才能在机器中表示。编码可以有各种方式,目前微机中最普遍采用的是 ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange,美国标准信息交换码),编码表见附录 C。

ASCII 码采用 7 位二进制编码,故可表示 $2^7 = 128$ 个字符,其中包括数码(0~9),以及英文字母等可打印的字符。从表中可以看到,数码 0~9 相应的用 0110000~0111001 来表示。因微型机字长或内存单元通常是 8 位,所以通常把最高位用作奇偶校验位,但在机器中表示时,一般认为是 0,故用一个字节(8 位二进制数)来表示一个字符的 ASCII 码值。于是 0~9 的 ASCII 码为 00110000B~00111001B 即 30H~39H,大写字母 A~Z 的 ASCII 码为 41H~5AH,小写字母 a~z 的 ASCII 码为 61H~7AH。