

 高等教育规划教材

微型计算机原理 及应用技术

第 3 版

朱金钧 麻新旗 等编著



提供电子教案和习题解答

下载网址 <http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等教育规划教材

微型计算机原理及应用技术

第3版

朱金钧 麻新旗 等编著

图中西文对照(CIP)数据

微型计算机原理及应用技术 / 朱金钧等编著. — 北京: 机械工业出版社, 2012.1

计算机教材系列

ISBN 978-7-111-48506-6

1395

I. ①微… II. 朱… III. ①微… II. ①微…

中国图书馆分类号: TP31

北京: 机械工业出版社, 2012.1

责任编辑: 刘 颖

责任印制: 刘 颖

北京机械工业出版社有限公司

2012年1月第1版·第1次

184mm×260mm·21.5印张·232千字

0001-3600册

定价: 48.00元 (含邮费)

ISBN 978-7-111-48506-6

机械工业出版社

地址: 北京机械工业出版社

邮编: 100000

电话: 010-88379630

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。书中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计算机科研、生产、教学和应用开发的科技人员自学或参考。

本书配有电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ:2966938356,电话:010-88379739)。

张金钧 张艳霞 刘金来

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. —3 版. —北京:机械工业出版社, 2015. 1

高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-48266-6

I. ①微… II. ①朱… III. ①微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 271219 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:和庆娣 责任校对:张艳霞

责任印制:刘 岚

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 3 版·第 1 次

184mm × 260mm · 21.5 印张 · 532 千字

0001 - 3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48266-6

定价: 45.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

出版说明

当前,我国正处在加快转变经济发展方式、推动产业转型升级的关键时期。为经济转型升级提供高层次人才,是高等院校最重要的历史使命和战略任务之一。高等教育要培养基础性、学术型人才,但更重要的是加大力度培养多规格、多样化的应用型、复合型人才。

为顺应高等教育迅猛发展的趋势,配合高等院校的教学改革,满足高质量高校教材的迫切需求,机械工业出版社邀请了全国多所高等院校的专家、一线教师及教务部门,通过充分的调研和讨论,针对相关课程的特点,总结教学中的实践经验,组织出版了这套“高等教育规划教材”。

本套教材具有以下特点:

1)符合高等院校各专业人才的培养目标及课程体系的设置,注重培养学生的应用能力,加大案例篇幅或实训内容,强调知识、能力与素质的综合训练。

2)针对多数学生的学习特点,采用通俗易懂的方法讲解知识,逻辑性强、层次分明、叙述准确而精炼、图文并茂,使学生可以快速掌握,学以致用。

3)凝结一线骨干教师的课程改革和教学研究成果,融合先进的教学理念,在教学内容和方法上做出创新。

4)为了体现建设“立体化”精品教材的宗旨,本套教材为主干课程配备了电子教案、学习与上机指导、习题解答、源代码或源程序、教学大纲、课程设计和毕业设计指导等资源。

5)注重教材的实用性、通用性,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教材和自学用书。

欢迎教育界的专家和老师们提出宝贵的意见和建议。衷心感谢广大教育工作者和读者的支持与帮助!

机械工业出版社

前 言

本书是高等院校计算机及相关专业非常重要的专业基础课教材，同时也是计算机科学工作者研发计算机有关项目的得心应手的参考书，书中很多实例来自作者的科研成果，并有大量最新计算机资料供读者查阅。本书从八五级计算机、电子、自动化等专业开始使用，结合二十多年的教学实践，历经三次结构性的改写和多次调整，本书日益成熟。此次改版主要的是把近年来微处理器等新产品、新技术补充进来，使本书成为名副其实的具备最新计算机资料的专业基础教科书。

本书以 8086 系统为基础，系统地讲述了微型计算机的 CPU 结构、指令系统与汇编语言程序设计、存储器、接口设计和总线等一系列技术。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计算机技术和应用的文献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 1.3 节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，便于读者顺利地入门并学习微型计算机的工作原理。全书共分为 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、汇编语言设计，从接口设计到计算机应用，引导读者由浅入深、循序渐进地学习。

2) 理论与实践相结合。计算机科学本身是一门软硬相结合的科学，需要大量实践才能掌握，故在汇编语言程序设计、接口设计等章节中，本书给出了一些可以直接引用的程序实例和接口设计的软硬件设计实例，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 作为范本，追踪 32 位系列主流高档微型计算机的技术发展，介绍了从 80286 到 Pentium 4 的结构和特点和多核微处理器。

4) 在文字叙述上力求语言精炼、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。

由于学时限制，在教学中建议第 3 章和第 9 章简讲，但不会影响知识的连贯性。全书由朱金钧统稿，第 1~3 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多位同志的帮助，在此深表谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，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	2
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	3
1.2.2 二进制编码	6
1.2.3 带符号数的表示	7
1.2.4 数的定点和浮点表示	10
1.3 计算机系统的组成及程序执行过程	12
1.3.1 计算机硬件系统组成及程序执行过程	12
1.3.2 计算机的软件系统	16
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	20
第2章 8086 微处理器及其系统	22
2.1 8086 微处理器简介	22
2.1.1 8086 的编程结构	22
2.1.2 8086 的引脚及其功能	26
2.2 8086 系统的存储器组织及 I/O 组织	29
2.2.1 8086 系统的存储器组织	29
2.2.2 8086 系统的 I/O 组织	31
2.3 8086 系统的工作模式	31
2.3.1 最小模式和最大模式的概念	31
2.3.2 最小模式系统	32
2.3.3 最大模式系统	35
2.4 8086 的操作时序	38
2.4.1 复位操作及时序	38
2.4.2 最小模式下的总线读周期	39
2.4.3 最小模式下的总线写周期	40
2.4.4 最大模式下的总线读周期	41

2.4.5	最大模式下的总线写周期	42
2.4.6	最小模式下的总线请求/响应周期	44
2.4.7	最大模式下的总线请求/响应周期	44
2.5	习题	45
第3章	从 8086 到 Pentium 系列微处理器的技术发展	47
3.1	80286 微处理器简介	47
3.1.1	80286 的特点及相对 8086 体系结构的增强点	48
3.1.2	80286 的保护模式	48
3.2	80386 微处理器	49
3.2.1	80386 的特点及其体系结构	49
3.2.2	80386 引脚的功能	51
3.2.3	80386 的寄存器组	52
3.2.4	80386 的工作模式	55
3.2.5	80386 的存储管理	56
3.2.6	80386 中断	58
3.3	80486 微处理器简介	59
3.3.1	80486 的主要特点	59
3.3.2	80486 的内部结构	60
3.4	Pentium 微处理器简介	63
3.4.1	Pentium 体系结构的特点	63
3.4.2	Pentium 相对 80486 体系结构的增强点	65
3.4.3	Pentium II 微处理器	66
3.4.4	Pentium III 微处理器	67
3.4.5	Pentium 4 微处理器	67
3.5	微处理器的发展	68
3.5.1	微处理器由单核向多核发展	68
3.5.2	微处理器发展现状	69
3.6	习题	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	93
4.2.6	转移指令	97

6.3.2	一次性可编程的只读存储器(PROM)	179
6.3.3	可编程、可擦除的只读存储器(EPROM)	179
6.3.4	电擦除可编程的只读存储器(EEPROM)	181
6.4	存储器与 CPU 的连接	182
6.4.1	存储器的工作时序	182
6.4.2	存储器与 CPU 连接时要注意的问题	185
6.4.3	常用的译码电路	185
6.4.4	存储器与 CPU 的连接举例	186
6.5	习题	191
第7章	输入/输出和中断	192
7.1	外设接口的一般结构	192
7.1.1	数据信息	192
7.1.2	状态信息	192
7.1.3	控制信息	193
7.2	CPU 与外设交换数据的方式	193
7.2.1	程序控制传递方式	193
7.2.2	DMA(直接存储器存取)传递方式	195
7.3	中断技术	197
7.3.1	中断概述	197
7.3.2	中断过程	198
7.3.3	中断优先权	199
7.4	8086/8088 的中断系统	200
7.4.1	中断结构	200
7.4.2	内部中断——软件中断	201
7.4.3	外部中断——硬件中断	202
7.4.4	中断的优先权及中断响应	203
7.5	8259A 可编程中断控制器	204
7.5.1	8259A 的主要功能	204
7.5.2	8259A 结构与功能原理	204
7.5.3	8259A 的编程	206
7.5.4	8259A 的工作方式	210
7.5.5	由多片 8259A 组成的主从式中断系统	212
7.5.6	8259A 的编程实例	213
7.6	8237A 可编程 DMA 控制器	217
7.6.1	8237A 的主要功能	217
7.6.2	8237A 的结构和工作原理	217
7.6.3	8237A 的编程和应用举例	225
7.7	习题	227
第8章	接口技术与常见接口芯片的应用	229
8.1	接口概述	229

4.2.7	处理器控制指令	102
4.2.8	输入/输出指令	103
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	104
4.3.1	80286 的增强和新增指令	104
4.3.2	80386 指令系统详解	106
4.3.3	80486 的增强和新增指令	112
4.3.4	Pentium 系列微处理器的新增指令	113
4.4	习题	114
第 5 章	汇编语言程序设计	117
5.1	宏汇编语言的基本语法	117
5.1.1	常数、变量和标号	117
5.1.2	运算符与表达式	118
5.2	伪指令	121
5.2.1	伪指令语句的格式	121
5.2.2	常用伪指令	122
5.3	宏指令	129
5.4	汇编语言程序的结构	132
5.4.1	汇编语言程序的基本结构	132
5.4.2	汇编语言与 DOS 之间的接口	132
5.5	DOS 系统功能调用	133
5.6	汇编语言程序设计方法	139
5.6.1	汇编语言程序设计的步骤	139
5.6.2	汇编语言程序设计的基本方法	140
5.6.3	汇编语言程序设计综合实例	154
5.7	软件调试技术	160
5.7.1	调试软件 DEBUG 简介	161
5.7.2	软件调试的基本方法	163
5.8	习题	165
第 6 章	微机存储器系统	169
6.1	概述	169
6.1.1	存储系统的层次结构	169
6.1.2	存储器的分类	171
6.1.3	存储器的基本组成	171
6.1.4	存储器的技术指标	173
6.2	随机读写存储器	173
6.2.1	静态 RAM	174
6.2.2	动态 RAM	176
6.3	半导体只读存储器	179
6.3.1	掩膜式只读存储器 (ROM)	179

8.1.1	接口的功能	229
8.1.2	接口与系统的连接	230
8.2	并行通信和并行接口芯片	231
8.2.1	并行通信的概念	231
8.2.2	可编程并行通信接口芯片 8255A 的应用	232
8.3	串行通信和串行接口芯片	251
8.3.1	串行通信的概念	251
8.3.2	可编程串行通信接口芯片 8251A 的应用	256
8.4	计数器/定时器接口电路	268
8.4.1	计数器/定时器工作原理	268
8.4.2	可编程计数器/定时器芯片 8253 的应用	270
8.5	模拟通道接口	280
8.5.1	概述	281
8.5.2	数/模(D/A)转换器	281
8.5.3	模/数(A/D)转换器	285
8.6	习题	296
第9章	微机总线技术	299
9.1	微机总线与接口标准简介	299
9.1.1	微机总线与接口标准的基本概念	299
9.1.2	微机总线的组成、总线规范和性能指标	300
9.2	微机系统总线	302
9.2.1	PC/XT 总线	302
9.2.2	ISA 总线	302
9.2.3	EISA 总线	304
9.2.4	PCI 局部总线	304
9.2.5	AGP 总线	309
9.3	微机常用接口标准	311
9.3.1	ATA 接口标准	311
9.3.2	SCSI 接口标准	312
9.3.3	USB 接口标准	314
9.3.4	IEEE 1394 接口标准	319
9.3.5	VXI 总线接口标准	321
9.4	习题	322
附录		324
附录 A	BIOS 功能调用	324
附录 B	MC - DOS(INT 21H)功能调用	328
附录 C	ASCII 码编码表	333

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。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

本节主要讲述计算机的发展历史,分析计算机的主要特点和分类,指出计算机的应用范畴和发展趋势。

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,电子元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所采用的电子元器件为标志进行划分。

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到了一个全新的时代,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,其发展已经经历了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和Intel8008。前者为4位机,后者为8位机。集成度约为2000个等效晶体管/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个晶体管/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10000个晶体管/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30000个晶体管/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100000个晶体管/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15~500000个晶体管/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要人的直接干预,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。

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5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。人们现在常说的“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,在某种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符合人的自然习惯,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人头脑中的反映,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,人们最熟悉、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:

$$S = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$$

$$= a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_1 \times R^1 + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m}$$

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 10 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 2 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:

$$(10110.101)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

$$= (22.625)_{10}$$

3. 十六进制数

- 特点:1) 具有 16 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 3 种进位计数制的对应关系。

表 1-1 3 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: 2em;">$2 \overline{) 11} \quad \dots \text{余 } 0 \quad (\text{低位})$</p> <p style="margin-left: 2em;">$2 \overline{) 5} \quad \dots \text{余 } 1$</p> <p style="margin-left: 2em;">$2 \overline{) 2} \quad \dots \text{余 } 1$</p> <p style="margin-left: 2em;">$2 \overline{) 1} \quad \dots \text{余 } 0$</p> <p style="margin-left: 2em;">$0 \quad \dots \text{余 } 1 \quad (\text{高位})$</p>	<p>小数部分: 0.625</p> <p style="margin-left: 2em;">$\times 2$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 2em;">$\boxed{1}.25 \quad \dots \text{取整数 } 1 \quad (\text{高位})$</p> <p style="margin-left: 2em;">$\times 2$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 2em;">$\boxed{0}.5 \quad \dots \text{取整数 } 0$</p> <p style="margin-left: 2em;">$\times 2$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 2em;">$\boxed{1}.0 \quad \dots \text{取整数 } 1 \quad (\text{低位})$</p>
--	---

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

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: 2em;">$16 \overline{) 26} \quad \dots \text{余 } 14 \rightarrow \text{E} (\text{低位})$</p> <p style="margin-left: 2em;">$16 \overline{) 1} \quad \dots \text{余 } 10 \rightarrow \text{A}$</p> <p style="margin-left: 2em;">$0 \quad \dots \text{余 } 1 (\text{高位})$</p>	<p>小数部分: 0.25</p> <p style="margin-left: 2em;">$\times 16$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p style="margin-left: 2em;">$\boxed{4}.0 \quad \dots \text{取整数 } 4$</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 1 位十六进制数对应 4 位二进制数(参见表 1-1),因此,只要用 4 位二进制数代替对应的 1 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 $(1AE.4)_{16} = (110101110.01)_2$

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 4 位二进制位分为一组(若最高位或最低位不够 4 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)。其运算规则如表 1-2 所示。

表 1-2 二进制数的运算规则

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】 $\text{NOT } 10100101 = 01011010$

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

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

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

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 1-3 列出了 8421BCD 码和十进制数的对应关系。

表 1-3 8421BCD 码和十进制数的对应关系

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 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。

另外, 在计算机中, 汉字编码采用国标码 (GB 18030 - 2005), 它采用单、双、四字节混合编码, 每个字节的最高位为 1, 并以此来区分汉字和 ASCII 码。

1.2.3 带符号数的表示

上面提到的二进制数没有涉及符号问题, 故是一种无符号数的表示。但是在实际应用中, 数当然会有正负, 那么计算机中如何表示数的符号呢? 通常规定数据的最高位为符号位, 即若是字长为 8 位, 则 D_7 位是符号位, $D_6 \sim D_0$ 为数字位。并规定符号位用 0 表示正, 用 1 表示负。

如: $X = (00001100)_2$, 则 X 的值为 +12; $Y = (10001100)_2$, 则 Y 的值为 -12。

在计算机中, 带符号数有 3 种表示法——原码、反码和补码。用原码、反码、补码表示的数称为机器数, 机器数对应的数学值称为真值。

1. 原码

如上所述, 正数的符号位用 0 表示, 负数的符号位用 1 表示, 数值位保持不变, 这种表示法称为原码。原码的定义:

若 $X \geq +0$, 则 $[X]_{\text{原}} = X$;