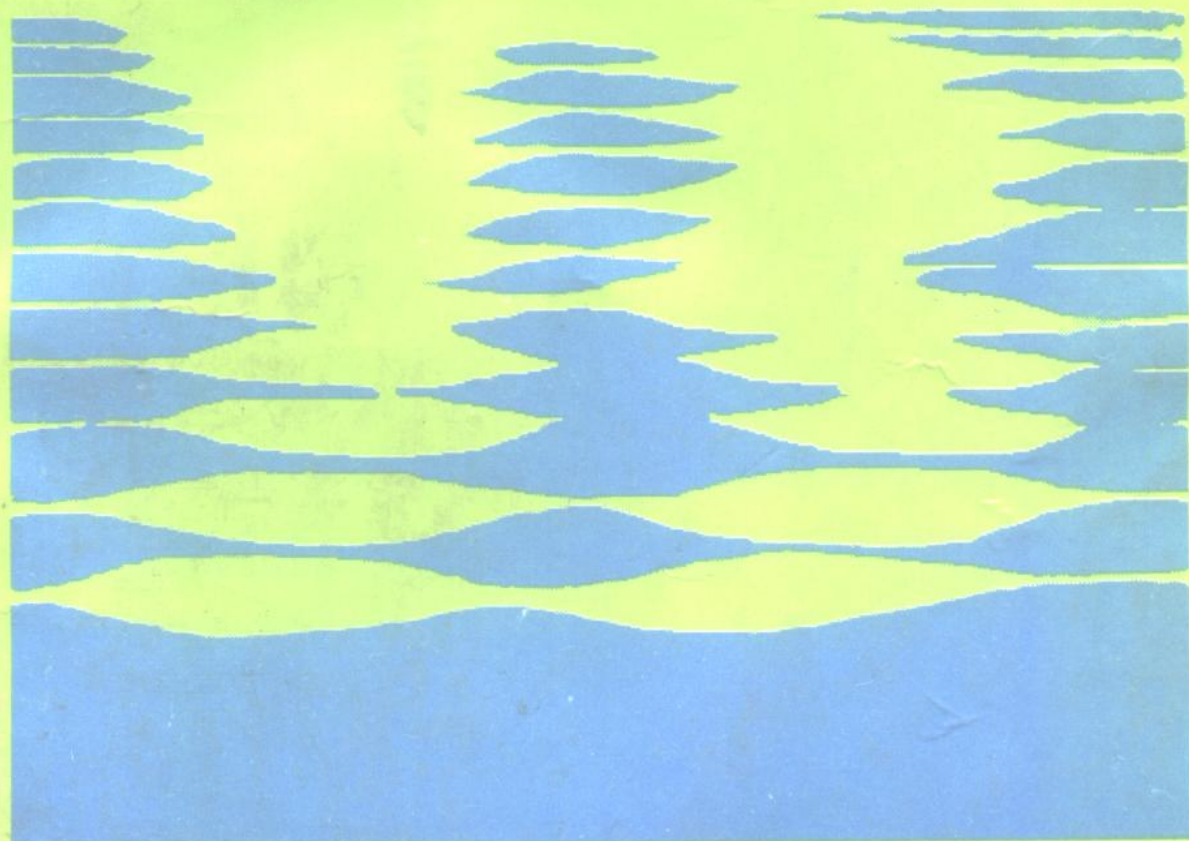


清华大学非计算机专业微机原理教材

微型计算机 系统原理及应用

杨素行等 编著



清华大学出版社



微型计算机系统原理及应用

杨素行 刘慧银 唐光荣 编著
赵长德 黄益庄

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书结合大量实例讲述了微型计算机的系统原理及应用。全书正文共分六章,内容分别是:微型计算机基础,微型机指令系统,汇编语言程序设计,半导体存储器,数字量输入输出以及模拟量输入输出。附录中以列表形式给出了 8086/8088 指令系统、MASM 伪操作命令、DOS 系统功能调用以及 BIOS 功能调用等常用信息,以便于读者查阅。

本书可作为高等学校工科非计算机专业的研究生或本科生的教材,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

微型计算机系统原理及应用/杨素行等编著. —北京:清华大学出版社,1995
ISBN 7-302-01961-4

I. 微… II. 杨… III. 微型计算机-计算机系统-基本知识 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 14875 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者:北京密云胶印厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:26.5 字数:629 千字

版 次:1995 年 9 月第 1 版 1996 年 12 月第 4 次印刷

书 号:ISBN 7-302-01961-4/T 965

印 数:18001—24000

定 价:23.50 元

前 言

本书是根据作者多年从事高校非计算机专业研究生及本科生微机课程的教学实践,并参照国家教委制定的“高等学校工科本科非计算机专业《微机原理与应用》课程教学基本要求”的精神而编写的,可以作为高等学校工科非计算机专业的研究生或本科生学习有关微型机系统原理及应用方面课程的教材,也可供从事微型计算机硬件或软件技术工作的工程技术人员参考。

微型计算机自问世以来,一直以令人目不暇接的态势飞速发展,新机型、新技术、新应用等层出不穷,日新月异,因此,微型机课程的教学内容需要不断更新和充实。然而要使教材随时跟踪微型机迅速更新换代的形势是十分困难的。对于微机课程来说,正如国家教委上述课程教学基本要求中所指出的,这是工科学生学习和掌握计算机硬件知识和汇编语言程序设计的入门课程,课程的任务是使学生从理论和实践上掌握微型机的基本组成、工作原理、接口电路及硬件的连接,建立微机系统的整体概念,使学生具有应用微机系统软硬件开发的初步能力。本着上述指导思想,本书以 IBM PC 系列微机中的基础机型 IBM PC/XT 为背景机,阐述微机系统的基本组成、工作原理和典型应用,在此基础上,适当介绍 80286、80386、80486 以及 Pentium 等的发展和特点,以便帮助学生掌握基本原理,培养分析问题和解决问题的能力,通过学习举一反三,将来能够适应微型机不断发展的形势。在内容的取舍方面,着重从非计算机专业的特点出发,注重应用,叙述力求深入浅出,尽量多举实例。由于微机课程是一门实践性十分强的课程,在采用本书作为教材时,还应注意加强实践环节,通过大量的上机实验,培养学生使用微机作为工具,进行实验研究的能力以及软硬件方面的实际动手能力。

本书第一章和第三章的第四节由刘慧银编写,第二章和第三章的第一、二、三、五节由杨素行编写,第四章由赵长德编写,第五章由唐光荣编写,第六章由黄益庄编写。杨素行担任主编,负责全书内容的修改和最后定稿。以上作者均长期从事非计算机专业研究生或本科生的微型机课程教学工作。

在本书编写过程中,清华大学吴秋峰、周宝全、刘学斌、张曾科、李九龄和邓丽曼等专家教授多次参加了大纲的讨论,提出了许多宝贵意见,彭毅在早期也参加了第五章的编写工作,谨在此一并表示深切的谢意。

本书的编写工作自始至终得到了清华大学研究生院的关心,正是由于研究生院的指导、帮助和全力支持,使本书得以顺利完成并交付出版。

由于编者水平的限制,加之时间比较仓促,书中一定存在错误或不妥之处,请读者不吝指正。

编 者

一九九五年五月

• 1 •

目 录

第一章 微型计算机基础	1
第一节 概述	1
第二节 计算机中的数制和编码	2
一、无符号数的表示及运算	3
(一) 无符号数的表示法	3
(二) 数制转换	3
(三) 二进制数的运算	5
二、带符号数的表示及运算	7
(一) 带符号数的表示法	7
(二) 真值与补码之间的转换	8
(三) 补码的运算	9
三、二进制编码	11
(一) 二进制编码的十进制数(BCD 码)	11
(二) 字母与符号的编码(ASCII 码)	11
第三节 微型计算机系统的组成、分类和配置	12
一、微型计算机系统的组成	12
(一) 微型计算机硬件	12
(二) 微型计算机软件	14
二、微型计算机的分类	14
三、IBM PC 及 PC/XT 的配置	15
(一) 系统板	15
(二) I/O 接口选件	16
第四节 微处理器	17
一、Intel 8086/8088	17
(一) 8086/8088 的功能结构	17
(二) 8086/8088 的内部寄存器	18
(三) 8086/8088 的引脚信号	20
(四) 8086/8088 的工作方式	22
(五) 8086/8088 的存储器管理	26
二、Intel 8087 协处理器	26
(一) 8087 的功能结构	27
(二) 8087 的内部寄存器	27
(三) 8087 的数据类型	28

• II •

(四) 8087 与 CPU 的连接及使用	31
三、Intel 80286	32
(一) 概述	32
(二) 80286 的功能结构	33
(三) 80286 的内部寄存器	33
四、Intel 80386	35
(一) 概述	35
(二) 80386 的功能结构	35
(三) 80386 的内部寄存器	36
五、Intel 80486	39
(一) 概述	39
(二) 80486 的功能结构	39
(三) 80486 的内部寄存器	39
六、Pentium	41
(一) 概述	41
(二) Pentium 的功能结构	41
(三) Pentium 的内部寄存器	41
第二章 微型机指令系统	43
第一节 寻址方式	43
一、立即寻址	43
二、寄存器寻址	44
三、直接寻址	44
四、寄存器间接寻址	45
五、变址寻址	46
六、基址寻址	47
七、基址-变址寻址	47
第二节 8086/8088 指令系统	51
一、数据传送指令	51
(一) 通用传送指令	52
(二) 输入输出指令	59
(三) 目标地址传送指令	60
(四) 标志传送指令	62
二、算术运算指令	63
(一) 加法指令	64
(二) 减法指令	69
(三) 乘法指令	74
(四) 除法指令	76

(五) 转换指令	79
三、逻辑运算和移位指令	80
(一) 逻辑运算指令	80
(二) 移位指令	86
(三) 循环移位指令	88
四、串操作指令	91
五、控制转移指令	97
(一) 转移指令	97
(二) 循环控制指令	102
(三) 过程调用指令	104
(四) 中断指令	106
六、处理器控制指令	107
(一) 标志位操作	107
(二) NOP	107
(三) HLT	107
(四) WAIT	108
(五) ESC	108
(六) LOCK	108
第三节 80286、80386 扩充与增加的指令	108
一、80286 扩充与增加的指令	109
(一) 80286 对指令功能的扩充	109
(二) 80286 增加的指令	110
二、80386 扩充与增加的指令	113
(一) 80386 对指令功能的扩充	114
(二) 80386 增加的指令	115
第三章 汇编语言程序设计	119
第一节 概述	119
第二节 汇编语言源程序的格式	120
一、分段结构	120
二、汇编语言语句的类型及组成	121
三、名字	121
四、助记符和伪操作	122
五、操作数	122
(一) 常数	122
(二) 寄存器	123
(三) 标号	123
(四) 变量	123

(五) 表达式	123
六、注释	127
第三节 伪操作命令	127
一、处理器方式伪操作	128
二、数据定义伪操作	129
三、符号定义伪操作	135
四、段定义伪操作	137
五、过程定义伪操作	142
六、模块定义与连接伪操作	143
七、宏处理伪操作	146
八、条件伪操作	152
九、列表伪操作	155
十、其他伪操作	156
第四节 DOS 和 BIOS 调用	157
一、概述	157
(一) DOS 简介	157
(二) 用户与 DOS 关系	157
(三) 用户程序控制 PC 机硬件的方式	157
二、DOS 软中断及系统功能调用	160
(一) DOS 软中断(INT 20H~INT 27H)	160
(二) DOS 系统功能调用(INT 21H)	161
三、BIOS 调用	170
(一) 键盘输入	170
(二) 打印机输出	171
(三) 时间中断	172
(四) 伪中断	173
(五) 显示器输出	175
第五节 汇编语言程序设计举例	187
第四章 半导体存储器	205
第一节 概述	205
一、存储器的分类	205
二、半导体存储器的分类	205
(一) 只读存储器(ROM)	205
(二) 随机读写存储器(RAM)	206
三、半导体存储器的指标	207
(一) 容量	207
(二) 存取速度	207

第二节 随机读写存储器(RAM)	207
一、静态 RAM	207
(一) 静态 RAM 的基本存储电路	207
(二) 静态 RAM 的结构	208
二、动态 RAM	210
(一) 动态 RAM 存储电路	210
(二) 动态 RAM 举例	210
(三) 高集成度 DRAM	211
第三节 只读存储器(ROM)	213
一、掩膜 ROM	213
二、可擦可编程只读存储器(EPROM)	213
(一) EPROM 的存储单元电路	214
(二) 典型 EPROM 芯片介绍	214
(三) 高集成度 EPROM	216
三、电擦可编程 ROM(EEPROM)	217
(一) 2816 的基本特点	218
(二) 2816 的工作方式	218
(三) 2817A EEPROM	219
第四节 CPU 与存储器的连接	220
一、连接时应注意的问题	220
(一) CPU 总线的带负载能力	220
(二) CPU 时序与存储器存取速度之间的配合	220
(三) 存储器组织、地址分配	220
二、典型 CPU 与存储器的连接	220
(一) 地址译码器 74LS138	220
(二) 8 位 CPU 与存储器的连接	221
(三) 单片机 8098 与 2764 的连接	223
(四) IBM-PC/XT 与 6116 的连接	224
(五) 存储体扩展技术	224
第五节 IBM PC/XT 中的存储器	225
一、存储空间的分配	225
二、ROM 子系统	226
三、RAM 子系统	228
第六节 扩展存储器及其管理	229
一、寻址范围	229
二、存储器管理	230
(一) 实地址方式	230
(二) 虚地址保护方式	230

(三) 虚拟 8086 方式	233
三、高速缓存器	233
四、存储器管理软件	234
(一) 高位内存区(HMA)	234
(二) 扩充存储器(EMS)的使用	235
(三) 建立磁盘超高速缓存区(DISK CACHE)	235
(四) 设置虚拟磁盘及 SHADOW RAM	236
第五章 数字量输入输出	237
第一节 概述	237
一、I/O 接口	237
(一) I/O 的信息组成	237
(二) I/O 接口的构成	237
二、I/O 的传送方式	238
(一) 并行 I/O	238
(二) 串行 I/O	238
三、I/O 端口的寻址方式	238
(一) 存储器映象寻址	238
(二) I/O 端口单独寻址	238
四、I/O 的控制方式	239
(一) 查询方式	239
(二) 中断方式	239
(三) DMA 方式	240
第二节 系统总线及简单接口	240
一、IBM PC/XT 总线	240
(一) 总线信号	240
(二) 总线周期	243
二、系统 I/O 端口地址	247
(一) IBM PC/XT 的 I/O 端口地址分配	247
(二) IBM PC/XT 的 I/O 端口地址译码	247
三、简单的 I/O 接口	248
(一) 三态缓冲器和锁存器的应用	248
(二) 80386/80486 的 I/O 接口	250
第三节 中断	251
一、中断的概念	251
(一) 中断类型	251
(二) 中断响应	253
(三) 80386/80486 的中断	254

二、可编程中断控制器 Intel 8259A	255
(一) 8259A 的引脚及结构	255
(二) 8259A 的编程	256
三、8259A 的应用	263
(一) 8259A 在系统中的连接	263
(二) 8259A 的编程应用	263
(三) IBM PC/XT 外部中断的过程	264
(四) 中断矢量的修改	264
第四节 计数/定时电路	266
一、可编程计数/定时器 Intel 8253	266
(一) 8253 的工作原理	266
(二) 8253 的编程	268
(三) 8253 的工作方式	269
二、8253 的应用	273
(一) 8253 在系统中的连接	273
(二) 8253 的编程	274
第五节 并行 I/O 接口	276
一、可编程并行接口 Intel 8255A	276
(一) 8255A 的引脚及结构	276
(二) 8255A 的工作方式	277
二、8255A 的应用	282
第六节 异步串行 I/O	284
一、异步串行通信格式	284
二、异步串行 I/O 接口标准	285
(一) EIA RS-232C	285
(二) 20mA 电流环	287
三、可编程串行接口 Ins 8250	287
(一) 8250 的引脚	288
(二) 8250 的结构	290
(三) 8250 的编程	295
第七节 直接存储器存取 DMA	299
一、DMA 控制器 Intel 8237	300
(一) 8237 的结构及引脚	300
(二) 8237 的工作时序	302
(三) 8237 的编程	304
二、8237 的应用	309
(一) 8237 在系统中的应用	309
(二) 应用举例	309

第八节 多功能 I/O 接口电路	310
一、82380 的结构	310
二、82380 的 DMA 功能	311
三、82380 的中断功能	312
四、82380 的定时器	312
第六章 模拟量输入输出	314
第一节 模拟量输入与输出通道的组成	314
一、模拟量输入通道的组成	314
二、模拟量输出通道的组成	315
第二节 数/模(D/A)转换器	316
一、D/A 转换器的工作原理	316
二、D/A 转换器的主要技术指标	319
三、典型 D/A 转换器芯片	319
(一) DAC0832	320
(二) DAC1210	322
四、D/A 转换器与微处理器的接口	323
(一) 8 位 D/A 转换器与 CPU 的接口	323
(二) 12 位 D/A 转换器与 CPU 的接口	324
(三) 光隔型 D/A 转换模板	326
第三节 模/数(A/D)转换器	327
一、A/D 转换器工作原理	328
(一) 双积分型的 A/D 转换器	328
(二) 逐次逼近型的 A/D 转换器	329
二、A/D 转换器的主要技术性能	330
三、典型 A/D 转换器芯片	332
(一) ADC 0809	332
(二) AD 574A	333
四、A/D 转换器与 CPU 的接口	337
(一) 典型的 A/D 转换器与 CPU 的接口	337
(二) 8 位 A/D 转换芯片与 CPU 的接口举例	338
(三) 12 位 A/D 转换芯片与 CPU 的接口举例	340
第四节 多路转换器	342
一、多路转换器的作用和要求	342
二、几种常用的多路开关集成电路芯片	343
(一) AD7501 和 AD7503	343
(二) AD7502	343
(三) CD4051B	343

三、多路开关的主要技术参数	344
第五节 采样保持器	345
一、采样保持器的工作原理	346
二、常用的采样保持器集成芯片	347
第六节 模拟量输入模块举例	348
一、模拟量输入通道的技术要求	348
二、PC-ADC 模拟量输入模块简介	348
(一) PC-ADC 模块主要技术性能	348
(二) 电路组成	349
(三) 采样程序	351
附录	354
附录 1.1 IBM PC ASCII 码字符表	354
附录 2.1 8086/8088 指令系统	355
附录 2.2 8086/8088 指令的机器码	376
附录 2.3 按 16 进制顺序排列的 8086/8088 指令	380
附录 2.4 8087 指令系统	390
附录 3.1 MASM 伪操作命令表	393
附录 3.2 DOS 系统功能调用 (INT 21H)	396
附录 3.3 BIOS 调用	402
附录 3.4 IBM PC 键盘扫描码	408
附录 3.5 字符的扩充码	409
附录 5.1 IBM PC/XT 的中断矢量表	409
附录 5.2 80386/80486 保留的中断	411
参考文献	412

第一章 微型计算机基础

第一节 概 述

自 1946 年世界上第一台电子计算机问世以来。计算机技术得到了突飞猛进的发展。短短四十多年的时间,已经历了四代的更替: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。80 年代初日本和美国又分别宣布了第五代“非冯·诺依曼”计算机和第六代“神经”计算机的研制计划。

计算机按其性能、价格和体积的不同,一般分为五大类:巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机。

微型机是本世纪 70 年代初研制成功的。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。

微处理器是微型机的核心芯片,通常简称为 μP 或 MP (MicroProcessor),它是将计算机中的运算器和控制器集成在一片硅片上制成的集成电路。这样的芯片也被称为中央处理单元,简称为 CPU (Central Processing Unit)。

微型计算机简称为 μC 或 MC (MicroComputer),它是由微处理器、适量内存和 I/O 接口电路组成的计算机。

20 多年来,微处理器和微型计算机获得了极快的发展,几乎每两年微处理器的集成度翻一番,每 2~4 年更新换代一次,现已进入第五代。

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 μs),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

微处理器问世后,众多公司纷纷研制微处理器,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 Intel 8080、Motorola 的 MC6800 为代表。1976~1978 年,出现高档 8 位微处理器,典型产品为 Intel 8085、Z80 和 MC6809。

第二代微处理器比第一代有了较多改进,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、存储器直接存取(DMA)功能。软件除汇编语言外,还可使用 BASIC、FORTRAN 以及 PL/M 等高级语言。后期开始配上操作系统,如 CP/M (Control Program/Monitor) 操作系统,它运用于以 8080A/8085A、Z80、MC6502 为 CPU,带有磁盘及各种外设的微型计算机系统。

3. 第三代(1978~1981年)16位微处理器

1977年左右,超大规模集成电路工艺研制成功,一片硅片上可集成一万个以上的晶体管,16kb(bit)和64kb半导体存储器也已出现。微处理器及微型机从第二代发展为第三代。三大公司陆续推出16位微处理器芯片,如Intel 8086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 $0.15\mu\text{s}$ 。以各项性能指标看,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、多处理机系统、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,但外部数据总线是8位。并以8088为CPU组成了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。与此同时,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IBM PC/AT高档16位机。

以上介绍的是16位微型机发展的一条途径,即在原8位机的基础上发展而来。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(1985年后)32位高档微处理器

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作协处理器,指令系统与80286兼容。80386DX内部结构、外部数据总线皆为32位,采用80387作为协处理器。

1990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($2^3 \times 2^{10}\text{Byte}$)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年后)64位高档微处理器

1993年3月,Intel公司推出64位微处理器芯片Pentium,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的微型机型号为Macintosh。

新一代高性能P6已经问世,1995年下半年P6可以进入商业领域,同时,装有P6芯片的686机将面世,预计1996年初便可主导市场。

第二节 计算机中的数制和编码

日常生活中,人们使用各种进制来表示数,如二进制、八进制、十进制、十六进制等等。由于用电子器件表示两种状态比较容易实现,所以,电子计算机中一般采用二进制。但人们又习惯于使用十进制数,因此在学习和掌握计算机的原理之前,需要了解二进制、十进

制、十六进制等表示法,及其相互关系和转换。

另外,人们经常使用的字母、符号、图形以及汉字,在计算机中也一律用二进制编码来表示,这些编码也是本节介绍的内容。

一、无符号数的表示及运算

(一) 无符号数的表示法

1. 十进制数的表示法

十进制计数法的特点是:

- 以 10 为底,逢 10 进位。
- 需要 10 个数字符号 0,1,2,...,9。

任何一个十进制数 N_D 可以表示为:

$$N_D = \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

其中, m 表示小数位的位数, n 表示整数位的位数, D_i 为十进制数字符号 0~9。例如,

$$135.7D = 1 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1}$$

上式中的后缀 D 表示十进制数(Decimal),但 D 可以省略。

2. 二进制数的表示法

二进制计数法的特点是:

- 以 2 为底,逢 2 进位。
- 需要两个数字符号 0,1。

一个二进制数可以表示为如下形式:

$$N_B = \sum_{i=-m}^{n-1} B_i \times 2^i \quad (1.2.2)$$

例如, $1101.1B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$

上式中后缀 B 表示二进制数(Binary)。

3. 十六进制数的表示法

十六进制计数法的特点是

- 以 16 为底,逢 16 进位。
- 需要 16 个数字符号 0,1,2,...,9,A,B,C,D,E,F。其中 A~F 依次表示 10~15。

一个十六进制数可表示为如下形式:

$$N_H = \sum_{i=-m}^{n-1} H_i \times 16^i \quad (1.2.3)$$

例如, $E5AD.BFH = 14 \times 16^3 + 5 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2}$

上式中后缀 H 表示十六进制数(Hexadecimal)。

(二) 数制转换

1. 任意进制数转换为十进制数

二进制、十六进制、以至任意进制的数转换为十进制数的方法简单,可按式(1.2.2)、

(1. 2. 3)等展开求和即可。

2. 十进制数转换为二进制数

(1) 十进制整数转换为二进制整数

任何一个十进制数转换为二进制数后,都可以表示成为式(1. 2. 2)的形式。问题的核心在于求出 n 及 B_i 。

下面通过一个简单的例子分析一下转换的方法。例如,

$$\text{已知 } 13D = 1101B = \underset{\substack{\uparrow \\ B_3}}{1} \times 2^3 + \underset{\substack{\uparrow \\ B_2}}{1} \times 2^2 + \underset{\substack{\uparrow \\ B_1}}{0} \times 2^1 + \underset{\substack{\uparrow \\ B_0}}{1} \times 2^0$$

上式也可以表示为,

$$\begin{aligned} 13D = 1101B &= (1 \times 2^2 + 1 \times 2) \times 2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= ((1 \times 2 + 1) \times 2 + 0) \times 2 + 1 \\ &\quad \underset{\substack{\uparrow \\ B_3}}{\quad} \underset{\substack{\uparrow \\ B_2}}{\quad} \underset{\substack{\uparrow \\ B_1}}{\quad} \underset{\substack{\uparrow \\ B_0}}{\quad} \end{aligned}$$

可见,要确定 13D 对应的二进制数,只需从右到左分别确定 B_0 、 B_1 、 B_2 和 B_3 即可。显然,从上式可以归纳出以下转换方法,用 2 连续去除十进制数,直至商等于零为止。逆序排列余数便是与该十进制数相应的二进制数各位的数值。过程如下:

$$\begin{array}{rcl} 2 \overline{)13} & & \\ 2 \overline{)6} & \cdots 1 (\text{商} 6 \text{余} 1) \rightarrow B_0 & \\ 2 \overline{)3} & \cdots 0 (\text{商} 3 \text{余} 0) \rightarrow B_1 & \\ 2 \overline{)1} & \cdots 1 (\text{商} 1 \text{余} 1) \rightarrow B_2 & \\ 0 & \cdots 1 (\text{商} 0 \text{余} 1) \rightarrow B_3 & \end{array}$$

$$\therefore 13D = 1101B$$

用与此类似的方法可以完成十进制数至十六进制数的转换,不同的是用 16 连续去除而已。

(2) 十进制小数转换为二进制小数。

根据(1. 2. 2)式,

$$\begin{aligned} 0.8125D &= B_{-1} \times 2^{-1} + B_{-2} \times 2^{-2} + B_{-3} \times 2^{-3} + B_{-4} \times 2^{-4} \\ &= 2^{-1}(B_{-1} + 2^{-1}(B_{-2} + 2^{-1}(B_{-3} + 2^{-1} \times B_{-4}))) \end{aligned}$$

由上式可以看出,十进制小数转换为二进制小数的方法是,连续用 2 去乘十进制小数,直至乘积的小数部分等于“0”。顺序排列每次乘积的整数部分,便得到二进制小数各位的系数 B_{-1} 、 B_{-2} 、 B_{-3} 、…。若乘积的小数部分永不为“0”,则根据精度的要求截取一定的位数即可。0.8125D 的转换过程如下,

$$\begin{array}{ll} 0.8125D \times 2 = 1.625 & \text{得出 } B_{-1} = 1 \\ 0.625D \times 2 = 1.25 & \text{得出 } B_{-2} = 1 \\ 0.25D \times 2 = 0.5 & \text{得出 } B_{-3} = 0 \\ 0.50D \times 2 = 1.0 & \text{得出 } B_{-4} = 1 \end{array}$$

所以, $0.8125D = 0.1101B$

3. 二进制数与十六进制数之间的转换