

微型计算机原理及应用

张宏杰 张 迅 编著

中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机原理及应用/张宏杰, 张迅编著. —广州: 中山大学出版社, 2007. 4
ISBN 978 - 7 - 306 - 02847 - 1

I. 微… II. ①张… ②张… III. 微型计算机 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 026758 号

责任编辑: 周建华

封面设计: 曹巩华

责任校对: 海 生

封面技编: 黄少伟

出版发行: 中山大学出版社

编辑部电话 (020) 84111996, 84113349

发行部电话 (020) 84111998, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275

传 真: (020) 84036565

印 刷 者:

经 销 者: 广东新华发行集团

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 19.75 印张 468 千字

版次印次: 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

本书如有印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换

内容简介

本书从 8086 系统到 Pentium 及多核技术，系统地介绍了微型计算机的基本原理和基本技术，并对当今发展的新技术作了相应的介绍。全书共分 9 章，具体内容包括计算机基本知识、微型计算机体系结构、8086/Pentium/Pentium 4/多核处理器、指令系统、汇编语言、存储器组成、系统总线、输入/输出基本技术及常用外部设备接口，第 9 章“BIOS 设置”为参考内容。本书内容精练，篇幅适中，既注重经典的基本理论，又有对新技术的展示，具有较强的理论性和可实践性，可作为高等学校电子类、计算机类本科各专业以及相关专业的教材，也可作为计算机技术人员的技术参考书。本书制作有教学课件及提供部分习题答案，选用本书的教师可向作者索取，或到中山大学出版社网站 www.zsup.com.cn（2007 年 7 月开通）下载。

前 言

本书在多年教学和科研工作经验的基础上写成。对于“微型计算机原理”这门课程，多年来我们都是采用兄弟院校编写的教材，为对教学工作也尽一份职责，特编写此书。

本书从 8086 系统到 Pentium 及多核技术，系统地介绍了微型计算机的基本原理和基本技术，并对当今发展的新技术作了相应的介绍。全书共分 9 章，具体内容包括计算机基本知识、微型计算机的体系结构、微处理器、指令系统及汇编语言、存储器组成、系统总线及 I/O 接口技术。第 9 章“BIOS 设置”与硬件密切相关，作为本书的参考内容。本书内容精练，篇幅适中，注重理论性和可实践性，全部例题的程序均上机通过。

微型计算机原理是电子类、计算机类各专业及相关专业本科生的一门必修课或选修课，选课学生都是第一次学习计算机硬件方面的内容，因此，在教学内容方面应遵循由浅入深、循序渐进的原则，精心安排教学大纲所要求的教学内容。若课时较少，本书可作为“微机原理”和“微机接口技术”两门课的教材，或选讲其中的基本内容。

计算机技术的发展很快，但它的发展总是依据一定的基本理论并以原有的技术为基础的。如果忽略了这些基本理论和基本技术的教学，学生就无法理解当今发展的新技术，学生的学习就可能会出现困难而达不到预期的教学效果。另一方面，我们在注重基本理论和基本技术的同时，也要加强教学内容的系统性和先进性，也应尽可能多些介绍当今发展的新技术，开拓学生的视野。如果学时允许，应该多讲些新内容。以作者的科研工作体会，微型计算机原理所包含的内容是非常有用的，愿读者学有所成。

本书出版之际，感谢中山大学出版社、中山大学理工学院领导和家人的大力支持，感谢本书责任编辑周建华副编审和其他技术人员为本书出版所付出的辛勤劳动。

本书由张宏杰副教授和张迅博士合编。本书多媒体课件光盘由胡慧杰、连燕霞、陈如麒、李志刚、梁滢进行技术设计和制作，由作者编导。由于编者学识所限，书中错漏难免，恳请读者批评指出。

作者于中山大学康乐园
2007 年 1 月

目 录

第1章 微型计算机概述	(1)
1.1 微型计算机发展	(1)
1.2 计算机中数和字符的表示	(3)
1.2.1 数的进制	(3)
1.2.2 无符号数和带符号数的表示	(6)
1.2.3 定点数和浮点数的表示	(9)
1.2.4 字符的编码	(11)
1.3 计算机中的一些基本逻辑电路	(12)
1.3.1 门电路	(12)
1.3.2 寄存器	(14)
1.3.3 加法器	(15)
1.3.5 译码器	(17)
1.4 微型计算机的基本结构	(19)
1.4.1 冯·诺依曼结构	(19)
1.4.2 微型计算机的基本结构	(20)
1.5 奔腾微型计算机的体系结构	(28)
1.5.1 基于PCI总线的微型计算机基本结构	(28)
1.5.2 Pentium II PC的体系结构	(30)
1.5.3 Pentium 4 PC的体系结构	(32)
1.5.4 微型计算机的性能指标	(34)
第2章 微处理器	(35)
2.1 8086 微处理器	(35)
2.1.1 8086 CPU的内部结构	(35)
2.1.2 8086 CPU总线	(40)
2.1.3 8086 CPU的工作模式	(42)
2.1.4 8086的系统总线接口及时序	(45)
2.2 Pentium 微处理器	(48)

2.2.1	Pentium CPU 的内部结构	(49)
2.2.2	Pentium CPU 总线	(54)
2.2.3	Pentium CPU 基本的总线周期时序	(60)
2.3	Pentium CPU 的存储器管理	(63)
2.3.1	Pentium CPU 的工作模式	(63)
2.3.2	保护模式下的分段管理	(64)
2.3.3	保护模式下的分页管理	(67)
2.4	Pentium 4 微处理器	(69)
2.5	多核处理器	(71)
第3章	指令系统	(74)
3.1	CPU 指令的寻址方式	(74)
3.2	数据传送指令	(78)
3.2.1	通用传送指令	(79)
3.2.2	堆栈操作指令	(80)
3.2.3	标志寄存器传送指令	(82)
3.2.4	指针传送指令	(83)
3.2.5	输入输出指令	(84)
3.3	算术运算指令	(84)
3.3.1	加法运算指令	(85)
3.3.2	减法运算指令	(87)
3.3.3	乘法运算指令	(90)
3.3.4	除法运算指令	(91)
3.4	逻辑运算及移位指令	(93)
3.4.1	逻辑运算指令	(93)
3.4.2	移位指令	(95)
3.5	串操作指令	(98)
3.5.1	串传送指令	(99)
3.5.2	串比较指令	(99)
3.5.3	串搜索指令	(100)
3.5.4	串读出指令	(101)
3.5.5	串存储指令	(102)
3.6	控制转移指令	(102)
3.6.1	无条件转移指令	(102)
3.6.2	条件转移指令	(103)
3.6.3	循环控制指令	(105)
3.6.4	子程序调用与返回指令	(107)
3.6.5	中断指令及 DOS/BIOS 功能调用	(108)

3.7	处理器控制指令	(111)
第4章	汇编语言程序设计	(112)
4.1	汇编语言的语句构成	(112)
4.1.1	汇编语言的常量	(112)
4.1.2	汇编语言的变量	(113)
4.1.3	符号和标号	(115)
4.1.4	表达式	(116)
4.2	伪指令语句	(120)
4.2.1	段定义语句	(120)
4.2.2	段声明语句	(121)
4.2.3	偏移地址语句	(122)
4.2.4	子程序定义语句	(122)
4.2.5	程序结束语句	(123)
4.3	汇编语言程序设计举例	(123)
4.3.1	直线程序	(124)
4.3.2	分支程序	(125)
4.3.3	循环程序	(128)
4.3.4	子程序	(130)
4.3.5	综合程序	(133)
4.4	汇编语言程序的上机过程	(137)
4.4.1	简单程序的上机	(137)
4.4.2	完整汇编语言程序的上机	(141)
第5章	存储器	(146)
5.1	存储器的分类	(146)
5.1.1	内存储器	(146)
5.1.2	外存储器	(147)
5.2	读写存储器 RAM	(149)
5.2.1	静态 RAM	(149)
5.2.2	动态 RAM	(152)
5.2.3	Pentium PC 的 RAM 存储器	(156)
5.3	内存条的性能指标及技术规范	(157)
5.3.1	内存条的种类	(157)
5.3.2	内存条的性能指标	(160)
5.3.3	内存条的技术规范	(162)
5.4	高速缓冲存储器 Cache	(163)
5.5	只读存储器 ROM	(166)

5.5.1	EPROM 存储器	(166)
5.5.2	闪速 ROM 存储器	(171)
第6章	系统总线及输入输出	(173)
6.1	系统总线	(173)
6.1.1	PC 总线	(173)
6.1.2	ISA 总线	(174)
6.1.3	PCI 总线	(175)
6.2	外部设备数据的传送方式	(181)
6.2.1	直接读写方式	(181)
6.2.2	查询传送方式	(181)
6.2.3	中断传送方式	(181)
6.2.4	DMA 传送方式	(183)
6.3	可编程中断控制器 8259A	(184)
6.3.1	8259A 的内部结构及引脚	(185)
6.3.2	8259A 的初始化命令与操作命令	(187)
6.3.3	8259A 的编程应用	(192)
6.3.4	中断传送方式程序设计举例	(194)
6.4	可编程 DMA 控制器 8237A	(197)
6.4.1	8237A 的内部结构及引脚	(198)
6.4.2	8237A 的控制字及软件命令	(202)
6.4.3	8237A 的级联及端口地址	(206)
6.4.4	8237A 的编程应用	(207)
6.5	可编程计数器/定时器 8253	(211)
6.5.1	8253 的内部结构及引脚	(211)
6.5.2	8253 的控制字	(212)
6.5.3	8253 的工作方式	(213)
6.5.4	8253 的编程应用	(216)
6.6	I/O 资源的使用	(218)
6.6.1	I/O 地址的分配	(218)
6.6.2	中断号及 DMA 通道的使用	(220)
第7章	外部设备接口	(221)
7.1	可编程并行接口 8255A	(221)
7.1.1	8255A 的内部结构	(221)
7.1.2	8255A 的引脚功能	(222)
7.1.3	8255A 的控制字	(223)
7.1.4	8255A 的工作方式	(225)

7.1.5	8255A 的编程应用	(230)
7.2	RS-232C 串行接口及 8250 编程	(235)
7.2.1	串行通信概念	(235)
7.2.2	串行接口芯片 8250	(240)
7.2.3	RS-232C 串行接口电路	(243)
7.2.4	8250 寄存器的设置	(244)
7.2.5	RS-232C 接口通信编程	(248)
7.3	USB 接口	(251)
7.3.1	USB 的性能特点	(251)
7.3.2	USB 系统的组成	(252)
7.3.3	USB 包的格式	(253)
7.3.4	USB 的信息传输方式	(255)
7.3.5	USB 和 IEEE 1394 技术性能的比较	(256)
7.4	IDE 接口	(256)
7.4.1	硬盘驱动器的结构	(256)
7.4.2	IDE 接口的技术标准	(257)
7.4.3	IDE 接口信号	(259)
7.5	键盘接口	(261)
7.5.1	键盘结构	(261)
7.5.2	键盘控制器及接口	(263)
7.6	显示器接口	(264)
7.6.1	显示器的组成	(264)
7.6.2	显示适配器及接口	(266)
第8章	A/D 和 D/A 转换接口	(269)
8.1	D/A 转换接口电路	(269)
8.1.1	D/A 转换原理	(269)
8.1.2	D/A 转换器 DAC 0832	(271)
8.1.3	D/A 转换接口电路及测控程序	(272)
8.2	A/D 转换接口电路	(275)
8.2.1	A/D 转换原理	(275)
8.2.2	A/D 转换器 ADC 0809	(276)
8.2.3	A/D 转换接口电路及测控程序	(278)
* 第9章	基本输入输出系统 BIOS	(282)
9.1	BIOS 的功能	(282)
9.2	Pentium 4 PC 的 BIOS 设置	(283)
9.2.1	标准 CMOS 设置	(284)

9.2.2	高级 BIOS 特性设置	(286)
9.2.3	高级芯片组功能设置	(289)
9.2.4	电源管理设置	(290)
9.2.5	即插即用与 PCI 配置设置	(292)
9.2.6	集成外部设备接口设置	(294)
9.2.7	硬件监控设置	(296)
9.2.8	装入高性能缺省值	(298)
9.2.9	装入 BIOS 设置缺省值	(298)
9.2.10	管理员及用户密码设置	(298)
9.2.11	IDE 硬盘自动检测	(299)
9.2.12	退出 BIOS 设置	(299)

附录	部分习题	(300)
主要参考文献	(306)

第 1 章 微型计算机概述

微型计算机从它的问世发展到今天，其应用如此之广泛，给人类社会的文明乃至人们工作生活的习惯带来深远的影响，同时使它成为我们学习的重要内容。本章介绍微型计算机的发展概况以及微型计算机的基本知识。

1.1 微型计算机发展概况

微型计算机出现于 20 世纪 70 年代初。在此之前，计算机的发展经历了电子管计算机、晶体管计算机、中小规模集成电路计算机的发展历程。1971 年，世界上第一个微处理器 Intel 4004 研制成功，从此以微处理器为核心部件的大规模集成电路计算机成了新一代的电子计算机，这种电子计算机称为微型计算机（Microcomputer）。

微型计算机是以微处理器（Microprocessor）的飞跃式发展而不断取得惊人的发展。自从 1971 年出现第一个微处理器以来，微处理器从 4 位发展到 8 位、16 位、32 位、64 位，使微型计算机的功能越来越强。许多过去在大中型计算机所采用的计算机技术，都被运用到微型计算机之中，以致今天微型计算机的性能达到了过去只有大中型计算机才能达到的水平。下面从微处理器的发展来看微型计算机的发展过程。

1. 4 位微处理器

1971 年推出的第一个微处理器 Intel 4004 由 2300 个晶体管组成，其字长为 4 位，工作时钟频率为 108kHz，可寻址 640 字节内存，每秒可执行 6 万条指令，主要用于进行算术运算。4004 的改进型为 Intel 4040，也是 4 位微处理器。

2. 8 位微处理器

第一个 8 位微处理器 Intel 8008 于 1972 年推出，1974 年改进为 Intel 8080。8080 微处理器由 6000 个晶体管组成，工作时钟频率为 2MHz，可寻址 640KB 内存，指令系统有一定的完整性。之后，8080 改进为 8085。与此同时，Zilog 公司和 Motorola 公司也分别推出它们的 8 位微处理器 Z80 和 6502，以 6502 为处理器的 APPLE II 微型计算机和以 Z80 为处理器的 Z80 单板机在当时得到广泛应用。

3. 16 位微处理器

第一个 16 位微处理器 Intel 8086 于 1978 年推出，其内部集成有 29000 个晶体管。8086 的工作时钟频率为 8 ~ 10MHz，可寻址 1MB 物理内存，指令系统完备。8086 的简化版 8088 于 1979 年推出，它的工作时钟频率为 5MHz，用它组成的微型计算机 IBM PC 和 IBM PC/XT 曾是 20 世纪 80 年代的流行机种。

1982 年，Intel 公司推出超级 16 位微处理器 80286，其工作时钟频率为 20MHz，内

部集成了 13.4 万个晶体管。80286 不但具有 8086 的实地址模式，而且还增加了另一种工作模式——保护模式。在实地址模式下，80286 可寻址 16MB 物理内存。在保护模式下，80286 可访问 1GB 虚拟存储空间。在运行程序时，80286 把虚拟空间中的任务映射到物理内存，从而使多任务的实现成为可能。

4. 32 位微处理器

第一个 32 位微处理器 Intel 80386 于 1993 年推出，其内部集成有 27.5 万个晶体管，工作时钟频率达 33MHz。在实地址模式下，可寻址 4GB 物理内存。在保护模式下，可访问 64TB 虚拟存储空间。80386 比 80286 增加了一种保护模式下的特殊工作模式——虚拟 8086 模式，在这种模式下 80386 可同时快速运行多个 8086 应用程序。

1989 年，80386 增强型微处理器 80486 发布，其内部集成了 120 万个晶体管。80486 不仅把浮点运算部件集成到其内部，还在其内部集成了一个 8KB 的高速缓冲存储器 Cache，把即将可能用到的指令和数据提前取回处理器内，使得指令的执行时间大大缩短。后来发展的 80486 DX2 还首次采用时钟倍频技术，其内部能以两倍于外部输入时钟频率的速度工作，使主频（CPU 内部核心工作频率）达 66MHz，随后推出的 80486 DX4 的主频更高达 100MHz。由于采用了多种新技术，80486 的工作速度远高于 80386。

1993 年，全新的 32 位高性能微处理器 Pentium 问世，中文名为“奔腾”。Pentium 继承了 80386 和 80486 的所有功能，并采用超标量体系结构。它拥有两条独立的指令流水线以及专门用于浮点运算并属流水线操作的浮点单元，还包含有各 8KB 的指令 Cache 和数据 Cache。Pentium 内部集成了 310 万个晶体管，主频为 60/66MHz。1996 年发布新的 Pentium 版，主频达 166MHz。

从 1995 年至 2000 年期间，Pentium 处理器又从 Pentium Pro（高能奔腾）、Pentium MMX（多能奔腾）、Pentium II、Pentium III 发展到 Pentium 4。每一次升级，都带来体系结构的变革、主频的提高以及指令系统功能的增强，而工作电压反而不断降低。以上各款 CPU 的主频典型值如下：

1995 年发布的 Pentium Pro：200MHz

1997 年发布的 Pentium MMX：233MHz

1998 年发布的 Pentium II：333MHz

1999 年发布的 Pentium III：450MHz

2000 年发布的 Pentium 4：1.3GHz 以上

在指令系统功能方面，Pentium MMX 比之前的 Pentium CPU 增加了 57 条 MMX（MultiMedia extensions）指令，增强了多媒体信息的处理能力。Pentium III 又比 Pentium II 增加了 70 条 SSE（Streaming SIMD Extensions，数据流单指令多数据扩展）指令，这些指令能提高数据流的传送及处理速度。

Pentium 4 包含了之前所有的 MMX 和 SSE 指令并增加了 144 条新的 SSE 指令，形成 SSE2 指令集，使 Pentium 4 极大地提升了在互联网和多媒体方面的处理功能。Pentium 4 内部集成了 4200 万个晶体管，工作电压 1.5 ~ 1.7 伏。

5. 64 位微处理器

2001 年，Intel 发布第一个 64 位微处理器 Itanium。2005 年，Intel 和 AMD 分别推出

各自的双核处理器。Intel 推出的双核处理器有 Pentium D 系列和 Core 2 Duo 系列，AMD 推出的双核处理器有 Athlon 64 系列。双核处理器是 CPU 内部包含两个处理器核心的处理器，支持 64 位指令，主频 1.6 ~ 3.7GHz，二级缓存 2MB/4MB。

我国计算机技术和计算机事业的发展也在不断地取得新的成就。据报导，我国自行研制的微处理器“龙芯”已达 Pentium 4 级水平。

1.2 计算机中数和字符的表示

微型计算机具有高速的数据传输、运算和处理功能，这些数据可能是数或字符等信息，在机器中需要以一定的编码形式来表示这些数据。

1.2.1 数的进制

在计算机中，无论怎样的数都以二进制或二进制编码的形式而存在，这是因为计算机中的数是以电路的物理状态来表示的。微型计算机由大量的数字电路组成，数字电路的输入或输出只有两种有效电平：高电平和低电平。高电平以“1”来表示，低电平以“0”来表示，因而就以“0”和“1”的编码来表示一个数，而数有不同的进位制。

1. 二进制

二进制是一种逢 2 进 1 的进位制，一个二进制数只用 0 和 1 这两个数字来表示。例如，1.11110010 是一个二进制数。在汇编语言中，二进制数以结尾符 B 表示。

二进制数中的每一个数位都有它的权值。从小数点左边算起，每一位的权依次为 2^0 , 2^1 , 2^2 , 2^3 , ...；从小数点右边算起，每一位的权则依次为 2^{-1} , 2^{-2} , 2^{-3} , ...。

例如：

$$\begin{aligned} N &= 01001111.1B \\ &= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= 79.5D \end{aligned}$$

在汇编语言中，十进制以字母 D 结尾或不加结尾符。

两个二进制数相加时，逢 2 进 1；两个二进制数相减时，借 1 当 2。

例如：

$$\begin{aligned} N1 &= 01010011 \\ N2 &= 00100100 \\ N3 &= N1 + N2 \\ &= 01110111 \\ N4 &= N1 - N2 \\ &= 00101111 \end{aligned}$$

2. 十六进制

十六进制是一种逢 16 进 1 的进位制，一个十六进制的数用 0 ~ 9, A, B, C, D, E, F 这 16 个数字来表示。一个十六进制数字用 4 位二进制编码来表示，它们和十进制、二进制之间的数值关系如表 1-1 所示。

表 1-1 十六进制数字与十进/二进制的数值关系

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

例如，68. A 是一个十六进制数。在汇编语言中，十六进制数以结尾符 H 表示。

十六进制数的每一个数位也有它的权值。从小数点左边算起，每一位的权依次为 16^0 ， 16^1 ， 16^2 ， 16^3 ， \dots ；从小数点右边算起，每一位的权则依次为 16^{-1} ， 16^{-2} ， 16^{-3} ， \dots 。

例如：

$$\begin{aligned} N &= 68. AH \\ &= 6 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + A \times 16^{-1} \\ &= 104. 625D \end{aligned}$$

两个十六进制数相加，逢 16 进 1，相减则借 1 当 16。

例如：

$$\begin{aligned} N1 &= 3AH \\ N2 &= 2BH \\ N3 &= N1 + N2 \\ &= 3AH + 2BH \\ &= 65H \\ N4 &= N1 - N2 \\ &= 3AH - 2BH \\ &= 0FH \end{aligned}$$

3. 数的数制转换

一个数可以用不同的进制表示，而且它们的数值是相等的。

(1) 二进制数转换成十六进制数

把一个二进制数转换成十六进制数的方法是：从小数点起，分别向左、向右分组，每 4 位二进制数字为一组，不足 4 位用 0 补上，然后每组用一位等值的十六进制数字表示。

例如：

$$01101000101011. 11B = 1A2B. CH$$

(2) 十六进制数转换成二进制数

把一个十六进制数转换成二进制数时，只要把这个数的每一位用等值的四位二进制数字来表示即可。

例如：

$$3C4D.EH = 0011110001001101.1110B$$

(3) 十进制数转换成二进制数

把一个十进制数转换成二进制数时，对于这个数的整数部分和小数部分要采用不同的方法来进行转换。十进制整数转换为二进制整数采用“除2取余”法。具体做法是：把这个十进制整数连续除以2，记录每次相除的余数，直至商为0时结束运算，然后把这些余数以最后一位为最高位的顺序排列，就得到等值的二进制整数。

例如：97D = ? B。

运算步骤如下：

$$\textcircled{1} 97 \div 2 = 48 \quad \text{余} 1;$$

$$\textcircled{2} 48 \div 2 = 24 \quad \text{余} 0;$$

$$\textcircled{3} 24 \div 2 = 12 \quad \text{余} 0;$$

$$\textcircled{4} 12 \div 2 = 6 \quad \text{余} 0;$$

$$\textcircled{5} 6 \div 2 = 3 \quad \text{余} 0;$$

$$\textcircled{6} 3 \div 2 = 1 \quad \text{余} 1;$$

$$\textcircled{7} 1 \div 2 = 0 \quad \text{余} 1。$$

所以，97D = 1100001B。

十进制小数转换为二进制小数采用“乘2取整”法。具体做法是：把这个十进制小数连续乘以2，记录每次相乘积的整数，但这位整数不参加后续的运算，直至相乘积的小数部分为0时结束运算，然后把相乘积的整数以第1位为最高位的顺序排列，就得到等值的二进制小数。

例如：0.25D = ? B。

运算步骤如下：

$$\textcircled{1} 0.25 \times 2 = 0.5 \quad \text{积的整数部分为} 0;$$

$$\textcircled{2} 0.5 \times 2 = 1.0 \quad \text{积的整数部分为} 1。$$

所以，0.25D = 0.01B。

若连续乘2取整多次都不能使乘积的小数部分为0，这时只能取近似值。

由上可知：

$$97.25D = 1100001.01B$$

(4) 十进制数转换成十六进制数

当要把一个十进制数转换成十六进制数时，简便的方法是：先把这个数转换成二进制数，再把这个二进制数转换成十六进制数。

例如：

$$\begin{aligned} 97.25D &= 1100001.01B \\ &= 61.4H \end{aligned}$$

4. 用二进制编码表示十进制数

用二进制编码表示十进制数通常采用 8421 BCD (Binary Coded Decimal) 码 (也可能有其它编码方法), 这种编码规定对每一位十进制数字用 4 位二进制编码来表示, 0000 ~ 1001 分别表示十进制数字 0 ~ 9, 如表 1-2 所示。

表 1-2 BCD 编码表

十进制数	8421 BCD 码	十进制数	8421 BCD 码
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	0001 0000
3	0011	11	0001 0001
4	0100	12	0001 0010
5	0101	13	0001 0011
6	0110	14	0001 0100
7	0111	15	0001 0101

例如, $(0001\ 0001\ 1000)_{\text{BCD}}$ 表示十进制数 118。注意, 它和 118 等值的二进制数 01110110 是不同的, BCD 码是十进制数的一种编码形式。

1.2.2 无符号数和带符号数的表示

在微型计算机中, 可以使用无符号数和带符号数。数在机器内的表示形式称为机器数。对于无符号机器数, 它的所有位都是数值位, 对于带符号数机器数, 规定它的最高位为符号位, 其余为数值位。符号位为 0 表示正数, 为 1 表示负数。机器数对应的数值称为真值。

例如, 下面的带符号机器数:

$$X = +35 = 00100011\text{B}$$

$$Y = -35 = 10100011\text{B}$$

一个带符号数可以有 3 种表示形式: 原码、反码、补码。在微型计算机中, 带符号数通常采用补码形式进行运算和表示结果, 除非进行一定的调整。采用补码运算可优化运算过程。

1. 原码

数的二进制真值数码, 称为原码。即一个十进制数转换出来的二进制数码, 加上最高位符号位, 就是原码。设一个字长 n 位的带符号数 $X = X_s X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1}$, 其中 X_s 为符号位, 其原码表示形式如下:

$$[X]_{\text{原}} = \begin{cases} 0X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1} & \text{当 } X \geq 0 \\ 1X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1} & \text{当 } X < 0 \end{cases}$$

绝对值相同的两个正、负数, 原码的数值位相同, 但正数的符号位为 0, 而负数的

符号位为1。

例如：

$$X = +45$$

$$[X]_{\text{原}} = 0010\ 1101$$

$$Y = -45$$

$$[Y]_{\text{原}} = 1010\ 1101$$

用原码表示带符号数，可直接求出它的十进制真值，但不便于机器运算。例如，两数相加时，机器首先要判断两数的符号是否相同，若两数的符号不同，实际是要做减法。为便于运算，所以在微型计算机中要采用补码形式表示带符号数，而补码可通过反码求得。

2. 反码

设一个字长为 n 位带符号数 X 的原码 $[X]_{\text{原}} = X_s X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1}$ ，它的反码形式表示如下：

$$[X]_{\text{反}} = \begin{cases} 0X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1} & \text{当 } X \geq 0 \\ 1 \overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3} \cdots \overline{X_{n-1}} & \text{当 } X < 0 \end{cases}$$

这表示正数的反码和它的原码相同，而负数的反码为原码数值位逐位取反，但符号位保持不变。

例如：

$$X = +45$$

$$[X]_{\text{反}} = [X]_{\text{原}} = 0010\ 1101$$

$$Y = -45$$

$$[Y]_{\text{反}} = 1101\ 0010$$

3. 补码

设一个字长 n 位的带符号数 X 的原码 $[X]_{\text{原}} = X_s X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1}$ ，它的补码形式表示如下：

$$[X]_{\text{补}} = \begin{cases} 0X_1 X_2 X_3 \cdots X_{n-1} & \text{当 } X \geq 0 \\ 1 \overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3} \cdots \overline{X_{n-1}} + 1 & \text{当 } X < 0 \end{cases}$$

这表示正数的补码和它的原码相同，而负数的补码为它的反码加1，其符号位保持不变。

例如：

$$X = +45$$

$$[X]_{\text{补}} = 0010\ 1101$$

$$Y = -45$$

$$[Y]_{\text{补}} = 1101\ 0010 + 1 = 1101\ 0011$$

对补码求十进制真值，须按其对应的原码进行计算。由于正数的补码和原码相同，所以求正数补码的十进制真值，只要对它的各数值位进行以2为底的幂次和运算即可。但对于负数补码求真值，就得先进行补码减1，再把其数值各位取反，求回原码，然后