21世纪重点大学规划教材

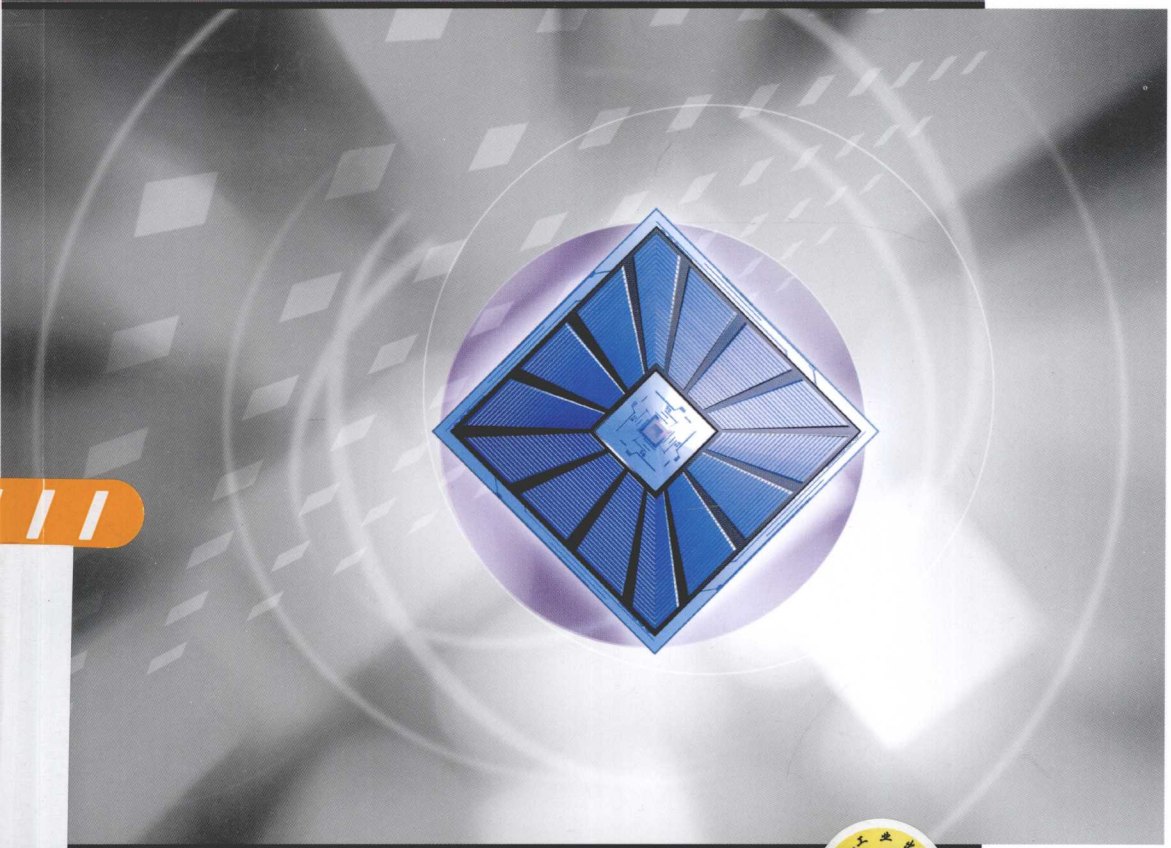
北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

余春暄　左国玉　等编著

80x86/Pentium 微机原理及接口技术

第3版



附赠光盘

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

北京高等教育精品教材
21 世纪重点大学规划教材

80x86/Pentium 微机原理及接口技术

第3版

余春暄　左国玉　等编著

机械工业出版社

本书主要介绍了从 8086 到 Pentium 系列微处理器的结构、特点和相关技术，寻址方式、指令系统及汇编语言程序设计，以及微型计算机各组成部分的原理、常用接口技术及其应用。

本书以培养学生应用能力为主要目标，强调掌握基本知识和基本技术，以及分析问题和解决问题的方法，在传统内容的基础上力求反映微型计算机及微处理器的新技术。为了配合教师课堂教学和学生课后学习，本书配备了用 Authorware、PPT 和 PDF 等软件制作的全国多媒体课件大赛获奖的多媒体辅助教学课件，利用视频和动画帮助读者理解所学内容。课件中还配有教学大纲和自测练习，使读者明确整个学习内容，了解学习效果。

本书既可作为高等院校计算机及相关专业的相关课程的教材，又可供计算机硬件或软件开发人员参考。

本书配有授课电子课件和部分工具文件，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）。

图书在版编目（CIP）数据

80x86/Pentium 微机原理及接口技术/余春暄编著．—3 版．—北京：机械工业出版社，2015.4

21 世纪重点大学规划教材

ISBN 978-7-111-49627-4

Ⅰ．①8…　Ⅱ．①余…　Ⅲ．①微型计算机—理论—高等学校—教材②微型计算机—接口—高等学校—教材

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 049161 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）

策划编辑：郝建伟　　责任编辑：郝建伟

责任校对：张艳霞

责任印制：李　洋

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2015 年 6 月第 3 版 • 第 1 次印刷

184mm×260mm • 21.25 印张 • 527 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-49627-4

ISBN 978-7-89405-784-6

定价：49.90 元（含 1CD）

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

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

随着我国信息化建设步伐的逐渐加快，对计算机及相关专业人才的要求越来越高，许多高校都在积极地进行专业教学改革的研究。

加强学科建设，提升科研能力，这是许多高等院校的发展思路。众多重点大学也是以此为基础，进行人才培养。重点大学拥有非常丰富的教学资源和一批高学历、高素质、高科研产出的教师队伍，通过多年的科研和教学积累，形成了完善的教学体系，探索出人才培养的新方法，搭建了一流的教学实践平台。同学科建设相匹配的专业教材的建设成为各院校学科建设的重要组成部分，许多教材成为学科建设中的优秀成果。

为了体现以重点建设推动整体发展的战略思想，将重点大学的一些优秀成果和资源与广大师生共同分享，机械工业出版社策划开发了“21 世纪重点大学规划教材”。本套教材具有以下特点：

1）由来自于重点大学、重点学科的知名教授、教师编写。

2）涵盖面较广，涉及计算机各学科领域。

3）符合高等院校相关学科的课程设置和培养目标，在同类教材中，具有一定的先进性和权威性。

4）注重教材理论性、科学性和实用性，为学生继续深造学习打下坚实的基础。

5）实现教材“立体化”建设，为主干课程配备了电子教案、素材和实验实训项目等内容。

欢迎广大读者特别是高校教师提出宝贵意见和建议，衷心感谢计算机教育工作者和广大读者的支持与帮助。

机械工业出版社

前 言

电子技术和计算机技术的迅猛发展，带来了人类生活、学习和科学研究许多领域的技术革命，使得现代社会和人类生活越来越离不开计算机，计算机知识和应用技能已成为人类知识经济的重要组成部分。无论是从事自动化、电子信息工程、通信工程、计算机应用、电气工程以及智能化仪器仪表等方面的理论研究，还是从事工程实践，都离不开计算机技术，因而“微机原理与接口技术”是电气信息类专业教学的学科基础课之一。

微型计算机原理与应用课程由于知识点多，初学者常感到课程难学、作业难做。本书是在参阅了当前国内外有关微型计算机的大量资料基础上，根据作者多年的教学实践和科学研究的经验编写的，通俗易懂、由浅入深、举一反三，既适合于高等院校计算机及相关专业学习有关课程的教学，又可以作为从事计算机硬件或软件开发与应用工作的工程技术人员的参考资料。本书的主要特点有：

1）内容上注重结构清晰、重点突出、循序渐进、实例丰富，使初学计算机原理者容易接受。

2）以目前最为普及的 Intel 80x86/Pentium 系列计算机系统作为背景，详细介绍了微型计算机的组成结构、工作原理、指令系统、接口技术等，为后续课程及计算机应用、开发打下良好的基础。

3）为了配合教师课堂教学和学生课后学习，本教材配备了用 Authorware、PPT 和用 PDF 制作的三款多媒体辅助教学课件，利用众多动画帮助读者理解所学内容。课件中还配有教学大纲和自测练习，使读者明确整个学习内容，了解学习效果。本书还提供部分工具文件，教师可到 www.cmpedu.com 免费注册，审核通过后下载。

4）注重基础，强调理论和实践相结合。重点介绍 8086/8088 处理器及外围接口技术的原理和应用方法，兼顾对计算机技术发展的展示，使读者了解计算机的发展历程，加深理解计算机系统的工作过程，适应计算机技术不断发展和应用不断升级的需求，掌握用计算机解决实际问题的方法。

5）配套了“80x86 微机原理及接口技术——习题解答与实验指导”一书，从不同角度帮助读者理解和掌握理论教学中的原理和技术，也可作为试题库素材。

教材共分为8章。第1章从介绍计算机的组成、微处理器的结构、计算机中数和编码的表示方法入手，建立计算机系统的整体概念，通过处理器执行程序过程的动画演示来了解微处理器的工作过程，之后简单介绍了微机系统中采用的先进技术。第2章以Intel 80x86 / Pentium 系列芯片的基础8086/8088微处理器为切入点，重点介绍8086/8088微处理器的内部结构、内部寄存器、工作模式、引脚定义、存储器组织和系统组成，在此基础上对比介绍了80x86及Pentium 系列微处理器的发展和特点。第3～4章介绍了80x86 / Pentium系列处理器的指令格式、寻址方式、指令系统、汇编语言程序设计以及调试手段，最后给出了汇编语言与C/C++混合编程的方法。第5章介绍了计算机中常用的半导体存储器的分类与接口设计方法。第6～8章介绍了

计算机接口技术，对计算机接口概念进行了较详细的阐述，通过应用实例介绍了简单接口技术和可编程接口技术。

本书主要由余春暄、左国玉编写和统稿，参与编写的还有施远征、韦燕凤、李展鹏、李锋、彭靖漩、杨洋和吴文茂，邓军完成了PPT版的辅助教学软件。本书在编写过程中参考了大量文献，在参考文献中已尽量列出。但是仍有部分资料因原始出处不详而未被列出，在此深表歉意。本书在编写与出版过程中，得到了机械工业出版社的具体指导与帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

目　录

第1章　计算机基础

计算机技术是 20 世纪最杰出的科技成果之一，它极大地改变了人类社会的生活、学习和工作的方式。本章介绍计算机的发展背景、体系结构、常用术语以及计算机中数和编码的表示方法，使读者了解计算机系统的整体概念和计算机的基本工作过程，为后续学习打下基础。

1.1　概述

1.1.1　微计算机的发展

“计算”是人类生活中最重要的活动之一。随着人类社会的发展与进步，计算量越来越大，而且越来越复杂，促使人们不断推出各种各样的计算工具，如我国唐宋时期出现了算盘，后来科学家又发明了计算尺、机械式计算器等。随着电子技术的发展，在 1946 年，世界上第一台电子数字积分式计算机（Electronic Numerical Integrator And Calculator，ENIAC）诞生了。著名数学家冯·诺伊曼（von Neumann）在 ENIAC 计算机的设计制造期间，首次提出了“存储程序”的概念，从那时开始，这个概念一直沿用至今。因此，人们把按照这一概念制造的计算机称作冯·诺伊曼计算机（von Neumann Machine）。冯·诺伊曼计算机的核心是：

1）指令和数据用二进制数表示。

2）程序预存在存储器中，在执行时会将指令自动地逐条取出并分析执行。

3）计算机的硬件由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 部分组成。

计算机的发展可分为：

第一代（1946 年～1958 年）真空管计算机。真空管体积大，并且非常耗电，例如 ENIAC 的功率为 130 000W。

第二代（1958 年～1964 年）晶体管计算机。

第三代（1964 年～1971 年）集成电路计算机。

第四代（1971 年至今）超大规模集成电路计算机。

目前正在向第五代人工智能计算机方向突破，其主要目标是希望实现更高程度上模拟人脑的思维功能。

现在，人们广泛使用的计算机是第四代计算机，它的发展是以微处理器的发展为基础的。微处理器的更新速度很快，几乎每两年集成度翻一番，每 2～4 年更新换代一次。可以看到：

1971 年～1973 年，第一代微处理器主要为 4 位或低档 8 位微处理器，其指令系统比较简单，运算能力差、速度慢。

1974 年～1978 年，第二代中高档 8 位微处理器，它比第一代微处理器有了较多的改进，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、存储器直接读取（DMA）功能。

1978 年～1981 年推出第三代 16 位微处理器，从各项性能指标看，第三代微处理器比第二代微处理器的性能提高了很多，已达到或超过原来的中低档小型机的水平。

1985 年，Intel 公司推出了 32 位微处理芯片 80386。80386 有两种结构：80386 SX 和 80386 DX。

1990 年，Intel 公司在 80386 的基础上研制出新一代 32 位微处理芯片 80486，其性能比 80386 大大提高，并采用了精简指令集计算（Reduced Instruction Set Computing，RISC）设计思想。

1993 年 3 月，Intel 公司推出了第五代微处理芯片 Pentium（简称 P5），它的外部数据总线为 64 位，内部总线为 32 位，工作频率为 66MHz。次年，Intel 公司又推出了第二代 Pentium，在体系结构上采用了 RISC 技术，可以说它是 CISC 和 RISC 技术相结合的产物。

1995 年 2 月，Intel 公司发布代号为 Pentium Pro（简称 P6）的新一代微处理器产品。

1998 年到 1999 年，Intel 公司又推出了 Pentium 的改进型，即 Pentium II 和 Pentium III。

2001 年底，Intel 公司又推出了代号为 Northwood 的 Pentium 4，很快成为主流高端 32 位 CPU 市场的佼佼者，特别是在多媒体应用领域，更具有突出的表现。同时，与 Intel 公司进行竞争的 AMD 公司，也不断推出新型微处理器。

在不断完善 32 位 CPU 系列的同时，Intel 公司和 AMD 公司在开发第 7 代 CPU 即 64 位 CPU 方面展开了激烈的竞争，并采取了不同的策略。Intel 公司在开发 64 位的 Itanium（安腾）时，放弃一直沿用的 x86 架构，而在 IA-64 架构的体系中采用了所谓的显式并行指令计算（Explicitly Parallel Instruction Computing，EPIC）核心技术，保持了技术上的优势。而 AMD 公司在其开发 64 位 CPU K8 SledgeHammer（大锤）时，则采取了更为平滑的过渡方式，尽管它在运行 64 位软件时速度不及 Intel 公司的 Itanium，但由于它注重增强同 IA-32 指令的兼容性，使其在执行 IA-32 软件时速度明显高于 Itanium。

1.1.2 常用术语

1）**位**（bit）：是计算机所能表示的最小的数据单位。每一位只能有两种状态："0"或"1"。bit 是 Binary Digit 的缩写。

2）**字节**（Byte）：一个 8 位二进制数称为一个字节，在计算机中的基本存储单元内容用字节表示。

3）**字**（Word）：是微处理器内部数据传输、处理的基本单位。目前 PC 常将 2 个字节定义为一个字，即一个字为 16 位二进制数。一个双字为 32 位二进制数。

4）**指令**：用二进制代码组成，规定微处理器进行某种操作的命令。即由"0"和"1"编码组成的代码，微处理器每一个操作均对应一组唯一的编码。

5）**指令系统**：是指一台计算机所能识别的全部指令。不同类型的微处理器，其指令系统不同，一般不能兼容。如 IBM 机、苹果机、各种单片机的指令系统均不相同。

6）**程序**：指令的有序集合。即为使计算机完成某种工作而编制的一系列指令。计算机将按照这一系列指令一步一步地工作。而这一系列指令就组成程序。

7）**存储器**：用于存储数据和程序。而数据和程序均用二进制编码表示。我们把存储器看成很多的单元，每个基本存储单元存储 8 位二进制编码（称为一个字节），并且均有自己的编号，这个编号称为该存储单元的地址。

8）**存储容量单位**：

1B=8bit（称为一个字节）

1KB=1024B=1024×8bit

1MB=1024KB=1024×1024B

1GB=1024MB=1024×1024×1024B

1TB=1024GB=1024×1024×1024×1024B

9）**地址**：指存储单元或 I/O 接口的编号。每个存储单元或 I/O 接口均有自己的唯一的物理编号，即称为物理地址。

1.1.3 正文中使用的符号

R	寄存器	M	存储器
R8	8 位寄存器（字节寄存器）	M8	8 位存储器（字节单元）
R16	16 位通用寄存器（字寄存器）	M16	16 位存储器（字单元）
R32	32 位通用寄存器（双字寄存器）	M32	32 位存储器（双字单元）
src	源操作数	mem16	16 位存储器单元的逻辑地址
dest	目标操作数	mem32	32 位存储器单元的逻辑地址
n_8	8 位立即数	EA	有效地址
n_{16}	16 位立即数	disp	位移量
n_{32}	32 位立即数	disp8	位移量为 8 位二进制数补码
n_{64}	64 位立即数	disp16	位移量为 16 位二进制数补码

1.2 计算机中数与编码的表示方法

计算机的工作就是处理数据或编码，那么，计算机是如何描述数和编码的？根据冯·诺伊曼计算机的概念，计算机中采用二进制数表达。因此，计算机中无论是数还是编码均用二进制数描述。但是为了描述方便，在编程中常采用不同的进制来描述数据。例如，为了书写方便且不易出错，常用十六进制数，为顾及日常生活的习惯常使用十进制数（BCD 码），在大型机、巨型机中还使用八进制数等。本书中常用的数制有：二进制数、十进制数、十六进制数。了解二、十、十六进制数的表达方式及相互转换的方法是非常重要的。除此之外，还应了解计算机中如何描述有符号数和编码。

1.2.1 进制表示

数制即为表示一个数的格式，目前均以进位制来描述，即每位的数值为该位的数字乘以该位的权值，每位之间均为一个进位，即

$$N_r=d_{n-1}\times r^{n-1}+d_{n-2}\times r^{n-2}+\cdots+d_1\times r^1+d_0\times r^0+d_{-1}\times r^{-1}+\cdots+d_{-m}\times r^{-m}$$

其中，r 为进位值；n 为整数位数；m 为小数位数；d_i 为第 i 位的数字（r 个数字中之一）。

1）**十进制数**，即 r=10，为逢十进一，借一当十，需要 10 个数字符号（0～9），第 i 位以 10^i 为权，如 $N_{10}=(683.74)_{10}=683.74D=6\times10^2+8\times10^1+3\times10^0+7\times10^{-1}+4\times10^{-2}=683.74$。

2）**二进制数**，即 r=2，为逢二进一，借一当二，需要两个数字符号 0 和 1，第 i 位以 2^i 为权，如 $N_2=(10001110.11)_2=10001110.11B=1\times2^7+0\times2^6+0\times2^5+0\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}=(571.75)_{10}$。

3）**十六进制数**，即 r=16，为逢十六进一，借一当十六，需要 16 个数字符号 0～9 及 A～F，第 i 位以 16^i 为权，如 $N_{16}=(5A2.F1)_{16}=5A2.F1H=5\times16^2+A\times16^1+2\times16^0+F\times16^{-1}+1\times16^{-2}=(1442.941)_{10}$。

4）各进制之间相互**转换规则**：一个数可以用不同的进制表示，各进制间转换过程中，整数部分和小数部分的处理方法不同，其转换规则为：

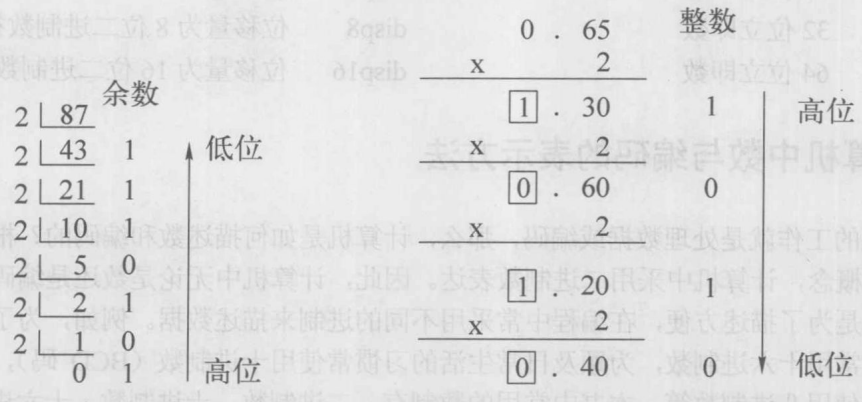
- 十进制数→二进制：
  - 整数部分为将数据N的整数部分连续除2取余，直至商为0
  - 小数部分为将数据N的小数部分连续乘2取整，直至满足精度要求
- 十进制数→十六进制：
  - 整数部分为将数据N的整数部分连续除16取余，直至商为0
  - 小数部分为将数据N的小数部分连续乘16取整，直至满足精度要求
- 二进制数→十进制
- 十六进制数→十进制

  按权展开，即：$N=\sum_{i=n-1}^{-m} d_i \cdot r^i$。

其中，n 为整数位数；m 为小数位数；r 为进制值（如十六进制数，则 r=16）；d_i 为第 i 位上的数字（如十六进制数→十进制数时，d_i 为 0 到 15 中的某个数字）。

【例 1-1】 将十进制数 87.65 用 8 位二进制整数和 4 位二进制小数表示。

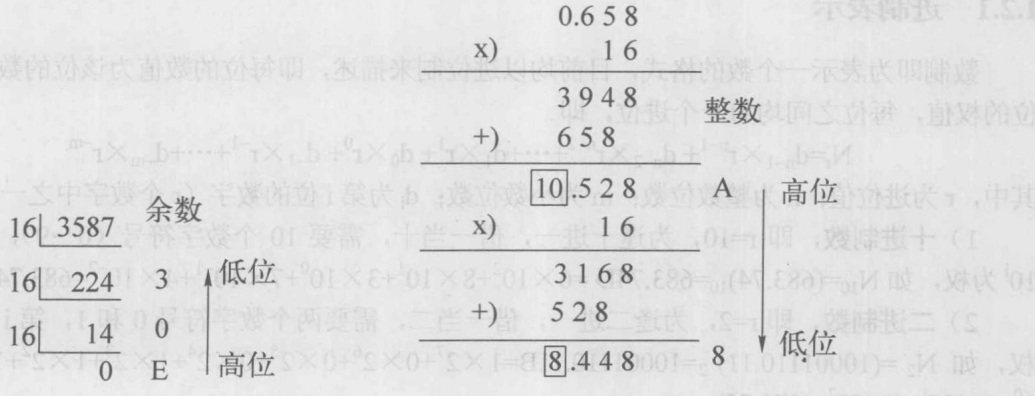
解：　整数部分：　　小数部分：



所以 87.65D＝**0**1010111.1010B，注意位数不足时，要补 0，如加粗的 0。

【例 1-2】 将十进制数 3587.658 转换成 4 位十六进制整数和 2 位十六进制小数。

解：　整数部分：　　小数部分：



即 3587.658D＝**0**E03.A8H

【例 1-3】 将十六进制数 57.AH 转换成十进制数。

解：$57.AH=5\times16^1+7\times16^0+A\times16^{-1}=80+7+0.625=87.625$

注意：在汇编语言程序中十进制数的标记 D 可以省略不写，但十六进制数的标记 H 和二

进制数的标记 B 不能省略。

1.2.2 定点和浮点表示

在实际应用中，要处理的数据多数是带有小数点的，而整数是小数的特殊情况。然而计算机只能识别 0、1 二进制数，不会识别小数点。对具有小数部分的数，在计算机中有两种表示方法：定点数和浮点数。

1）定点数：即小数点固定的数。或定义为纯整数，或定义为纯小数，如图 1-1 所示。

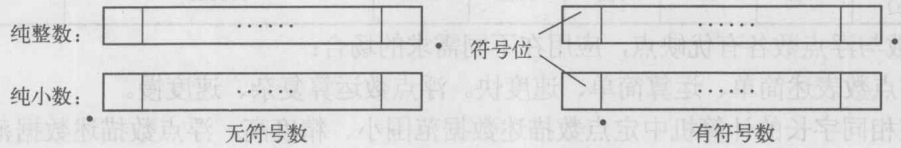


图 1-1　定点数格式示意

2）浮点数：又称为实数，即小数点浮动的数，此类数实际上是用指数形式表示，如$\pm L \cdot 2^{\pm C}$，其中 C 称为阶数（即指数），其位数多少决定数据表示的范围大小；L 称为尾数，其位数多少决定数据的精度。用定点数表示浮点数的格式如图 1-2 所示。阶符和尾符分别为阶数和尾数的符号，0 表示“+”号，1 表示“–”号。

【例 1-4】 用国际标准（IEEE-754）的 32 位浮点数（单精度浮点数）表示 876.5 和–0.125。

分析：目前，大多数编译器都支持国际标准（IEEE-754）的格式。其 32 位浮点数的格式要求为，尾数占 24 位，其中 23 位（D_{22}～D_0）用绝对值表示有效数据，1 位（D_{31}）为符号位，阶码占 8 位（D_{30}～D_{23}），如图 1-3 所示。

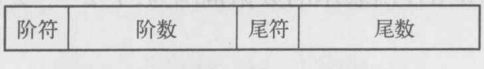


图 1-2　用定点数表示浮点数的格式

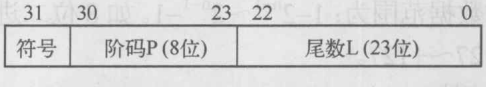


图 1-3　国际标准（IEEE-754）的 32 位浮点数格式

如果按照尾数归一化格式要求，其中二进制数尾数中整数部分一定为 1，故尾数只写小数部分，则有 0.5≤｜L｜<1，P=7FH±阶数（阶符为“+”则加，阶符为“–”则减）。所以有：

876.5= 1101101100. 100B=$1.10110110010000000000000B \times 2^{1001B}$

尾数 L = 10110110010000000000000B

阶码 P = 0111 1111B+1001B = 10001000B = 88H

876.5 的浮点数表示为 = 0 10001000 10110110010000000000000B = 445B2000H

–0.125= –0.0010000B= $-1.0000000000000000000000B \times 2^{-11B}$

尾数 L = 00000000000000000000000B

阶码 P = 0111 1111B–11B = 01111100B = 7CH

–0.125 的浮点数表示为 = 1 01111100 00000000000000000000000B = BE000000H

从例 1-4 可以看出，用浮点表示数据比较复杂，运算也复杂（需要阶数对齐）。一般由专用的浮点运算部件（FPU）实现浮点运算，Pentium 处理器开始将浮点运算部件（FPU）集成在微处理器内部，用专门的浮点运算指令集实现浮点数据处理操作。表 1-1 列出了 IEEE754 三种浮点数的格式参数。双精度浮点数的阶码 P=3FFH±阶数，长双精度浮点数的阶码 P=3FFFH±阶数。

表 1-1　几种浮点数据的特点

数 据 类 型	总位数	字节数	符号位	阶码位数	尾数位数	偏移值（十六进制数）	偏移值（十进制数）
单精度浮点数（float）	32位	4	1位	8位	23位	7FH	+127
双精度浮点数（double）	64位	8	1位	11位	52位	3FFH	+1023
长双精度浮点数（long double）	80位	10	1位	15位	64位	3FFFH	+16383

定点数与浮点数各有优缺点，应用在不同需求的场合：

1）定点数表述简单、运算简单、速度快。浮点数运算复杂、速度慢。

2）在相同字长的计算机中定点数描述数据范围小、精度高，浮点数描述数据范围大、精度低。

1.2.3　有符号数的表示

计算机也可以处理有符号数，那么计算机是如何描述、处理有符号数的？计算机表示有符号数是将符号数值化，即将二进制数的最高位定义为符号位，用“0”表示“+”号，用“1”表示“–”号；无符号数是有符号数的特例，可以看成正数。

为了计算方便，引入了原码、反码、补码的概念。同一数的原码、反码和补码，是从不同的角度表示这个数。

1．原码

原码是最高位为符号位（0 表示正数，1 表示负数），其余位均为数值位的二进制数，所表示的数据范围为：$1-2^{n-1}\sim 2^{n-1}-1$。如 8 位二进制数（n=8），所表示的数据范围为：$1-2^{8-1}\sim 2^{8-1}-1$，即–127～+127。

例如：$[+56]_{原}=00111000B=38H$　　$[-56]_{原}=10111000B=B8H$

0 的原码有两种表示：

$[+0]_{原}=00000000B=00H$　　$[-0]_{原}=10000000B=80H$

2．反码

正数的反码与其原码相同。负数的反码等于原码中符号位不变，其他各位取反。反码表示的数据范围为：$1-2^{n-1}\sim 2^{n-1}-1$。如十六位二进制数（n=16），所表示的数据范围为：$1-2^{16-1}\sim 2^{16-1}-1$，即–32767～+32767。

例如：$[+56]_{反}=[+56]_{原}=00111000B=38H$　　$[-56]_{反}=11000111B=C7H$

0 的反码有两种表示：

$[+0]_{反}=[+0]_{原}=00000000B=00H$　　$[-0]_{反}=11111111B=FFH$

3．补码

正数的补码与其原码相同。负数的补码等于原码中符号位不变，其他各位取反后再加一。所表示的数据范围为：$-2^{n-1}\sim 2^{n-1}-1$。如 8 位二进制数（n=8），所表示的数据范围为：$-2^{8-1}\sim 2^{8-1}-1$，即–128～+127。

例如：$[+56]_{补}=[+56]_{原}=00111000B=38H$　　$[-56]_{补}=11001000B=C8H$

而 0 的补码只有一种表示：

$[+0]_{补}=[+0]_{原}=00000000B=00H$　　$[-0]_{补}=11111111B+1=00H$

4. 运算规则

$[X]_{原}=[[X]_{补}]_{补}$

$[X]_{原}=[[X]_{反}]_{反}$

$[X\pm Y]_{补}=[X]_{补}\pm[Y]_{补}$

$[X\pm Y]_{补}=[X]_{补}+[\pm Y]_{补}$

【例 1-5】 写出–111 和+97 的原码、反码和补码。

$[-111]_{原}=11101111B$　　$[-111]_{反}=10010000B$　　$[-111]_{补}=10010001B$

$[+97]_{原}=[+97]_{反}=[+97]_{补}=01100001B$

【例 1-6】 C2H 是某十进制数的补码，请问该数真值是多少？

$X=[[X]_{补}]_{补}=[C2H]_{补}=[11000010B]_{补}=10111110B=-62$

【例 1-7】 $[X]_{补}=2AH$，$[Y]_{补}=B6H$，试问 X+Y=?

方法一：

$X+Y=[[X+Y]_{补}]_{补}=[[X]_{补}+[Y]_{补}]_{补}=[2AH+B6H]_{补}=[E0H]_{补}=10100000B=-32$

方法二：

$X+Y=[[X]_{补}]_{补}+[[Y]_{补}]_{补}=[2AH]_{补}+[B6H]_{补}=2AH+CAH=42+(-74)=-32$

注意以下几点：

1）互补的概念不是计算机中特有的，日常生活中也存在。例如，在时间上 11 点和差 1 小时 12 点表示的是同一个时刻。也就是说，11 和–1 在 12 进制时间表示上是互补的。

2）$[正数]_{原}=[正数]_{反}=[正数]_{补}$，$[负数]_{原}\neq[负数]_{反}\neq[负数]_{补}$。

3）采用补码运算的计算机称为补码机，目前我们见到的计算机均为补码机。

4）在补码运算时，要注意溢出问题，它与进位不同。所谓**溢出**就是运算的结果超出了所能表示的范围，使得数据侵占了符号位。判断溢出的方法有如下两种。

- 双进位法：2 个进位位分别为次高位向最高位的进位和最高位向进位位的进位。如果两个进位均有或均无，则无溢出。如果两个进位中 1 个有进位而另 1 个无进位，则一定有溢出。
- 符号判断法：同号相减无溢出，同号相加时结果符号与加数符号相反有溢出，相同则无溢出。异号相加无溢出，异号相减时结果符号与减数符号相同有溢出，相反则无溢出。

【例 1-8】 用 8 位二进制补码完成(–23)+(–123)的运算。

$$\begin{array}{r} [-23]_{补}=>[10010111B]_{补}=>11101001B \\ +)\ [-123]_{补}=>[11111011B]_{补}=>10000101B \\ \hline [+110]_{补}<=[01101110B]_{补}<=01101110B \end{array}$$

从上面运算式中可以看出，次高位向最高位无进位，而最高位向进位位有进位，所以运算结果有溢出。从另一个角度来看，两个负数相加，结果为正数，其符号与减数的符号相反，所以运算结果有溢出。也就是(–23)+(–123)=–146 ≠ +110 ，运算结果不正确，这是因为运算结果有溢出，也就是运算结果的数据位超出了所能表示的范围，侵占了符号位。

正确的解决方法是扩大数据位数，即用 16 位二进制补码完成(–23)+(–123)的运算。

$$\begin{array}{r} [-23]_{补}=>[10000000\ 00010111B]_{补}=>11111111\ 11101001B \\ +)\ [-123]_{补}=>[10000000\ 01111011B]_{补}=>11111111\ 10000101B \\ \hline [-146]_{补}<=[10000000\ 10010010B]_{补}<=11111111\ 01101110B \end{array}$$

上式中次高位向最高位有进位，最高位向进位位也有进位，所以运算结果没有溢出。

【例 1-9】 用 8 位二进制补码完成 25-100 的运算。

$$
\begin{array}{rl}
 & [+25]_{补}=>[00011001B]_{补}=>00011001B \\
-) & [+100]_{补}=>[01100100B]_{补}=>01100100B \\
\hline
 & [-75]_{补}<= [11001011B]_{补}<=10110101B
\end{array}
$$

因为两个正数相减，所以运算结果一定无溢出。另外，从上面运算式中可以看出，次高位向最高位有借位，最高位向进位位也有借位，用双进位位判断溢出的方法，结果仍为无溢出。验证：(+25) –(+100)= –75，运算结果正确。

值得注意的是，对于有符号数运算一定要用补码运算，而不能用原码运算。为什么？请读者思考。

1.2.4 编码的表示

计算机除了可以处理数据，还可处理字符、图形，用特定的编码表示符号。编码种类有很多，如电报码、格雷码、BCD 码、ASCII 码、汉字编码等。在这里只介绍常用的 BCD 码、ASCII 码和汉字编码。

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

计算机只能识别和处理二进制数，而日常生活中更为常用的是十进制数。计算机中可用二进制数编码表示十进制数称作 BCD 码，也就是用四位二进制数表示一位十进制数，它主要有两种表示形式：

1）**非压缩型 BCD 码**：用一个字节表示一位十进制数，高四位清零。

2）**压缩型 BCD 码**：用一个字节表示两位十进制数。

注意：

1）计算机并不能真正识别 BCD 码，只是程序员明白所要处理数据的性质。

2）有些指令对 BCD 码的表示形式有要求，如 80x86 的十进制调整指令 AAA、AAS、AAM 和 AAD 只对非压缩型 BCD 码进行操作，而 DAA 和 DAS，只对压缩型 BCD 码进行操作（参见第 3 章）。

表 1-2 给出了十进制数与非压缩型 BCD 码和压缩型 BCD 码的对照。

表 1-2 十进制数与非压缩型和压缩型 BCD 码的对照表

十 进 制 数	非压缩型BCD码（B）	压缩型BCD码（B）
12	0000 0001　0000 0010	0001 0010
285	0000 0010　0000 1000　0000 0101	0000 0010　1000 0101
1470	0000 0001　0000 0100　0000 0111　0000 0000	0001 0100　0111 0000

2．ASCII 码

计算机中字符也必须采用二进制编码形式表示。编码形式有多种，目前广泛采用美国信息交换标准代码，即 ASCII（American Standard Code for Information Interchange）码，也就是用 7 位二进制数对字符进行编码，附录 A 给出了 ASCII 码与字符对照表。其中共有 2^7=128 个字符，包括 94 个可视字符和 34 个控制字符。如数字符“0”～“9”对应的编码为 30H～39H，小写英文字母“a”～“z”对应的编码为 61H～7AH，大写英文字母“A”～“Z”对应的编码为 41H～5AH，回车符 CR 为 0DH，换行符 LF 为 0AH，“$”符为 24H，以及“+”、“–”、“*”、“/”、“%”等字符（参见附录 A）。