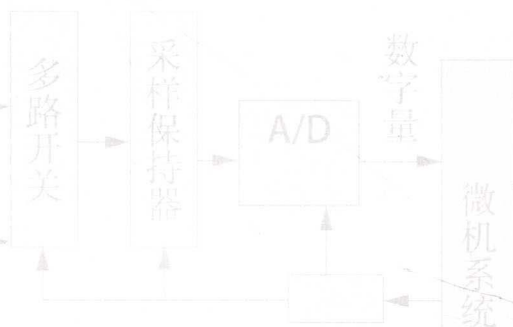
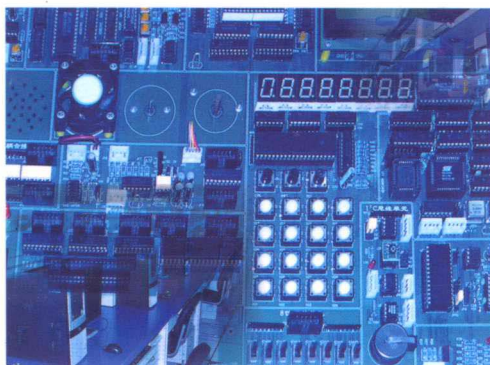
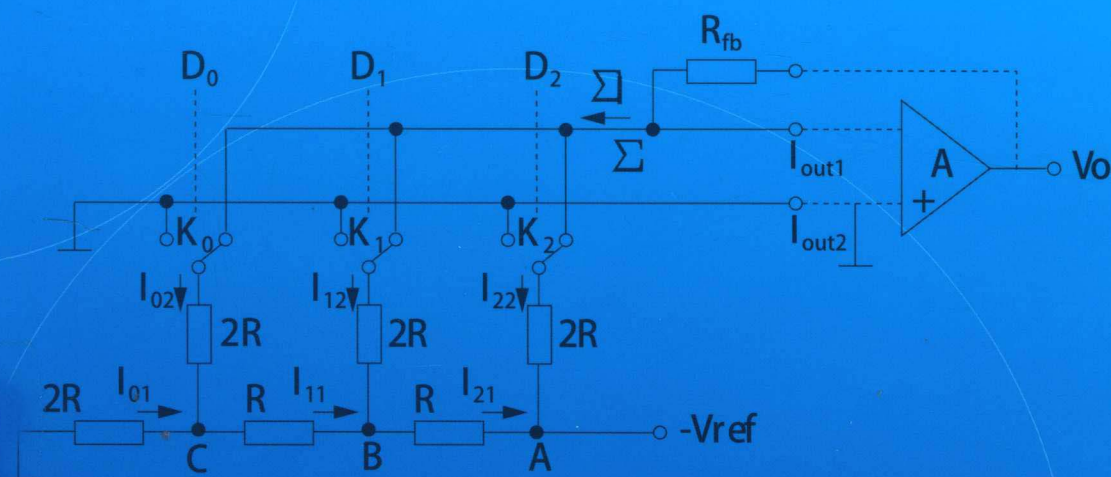




微机原理及应用

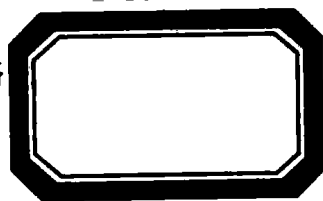
WEIJI YUANLI JI YINGYONG

庞毅林 蒋翠玲 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高等院校网络



微机原理及应用

庞毅林 蒋翠玲 编著

 华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

微机原理及应用 / 庞毅林编著. —上海:华东理工大学出版社,2012.9

高等院校网络教育系列教材

ISBN 978-7-5628-3200-3

I. ①微… II. ①庞… III. ①微型计算机-高等教育:远距离教育-教材

IV. ①TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 267121 号

高等院校网络教育系列教材

微机原理及应用

编 著 / 庞毅林 蒋翠玲

责任编辑 / 纪冬梅

责任校对 / 陈孟昀

封面设计 / 方 雷 裘幼华

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

(021)64250787(编辑室)

传 真:(021)64252707

网 址:press.ecust.edu.cn

印 刷 / 上海市崇明县裕安印刷厂

开 本 / 787 mm×1092 mm 16 开

印 张 / 15.5

字 数 / 374 千字

版 次 / 2012 年 9 月第 1 版

印 次 / 2012 年 9 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-3200-3

定 价 / 39.80 元

联系我们:电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

序

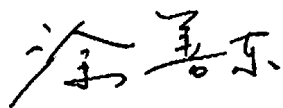
网络教育是依托现代信息技术进行教育资源传播、组织教学的一种崭新形式,它突破了传统教育传递媒介上的局限性,实现了时空有限分离条件下的教与学,拓展了教育活动发生的时空范围。从1998年9月教育部正式批准清华大学等4所高校为国家现代远程教育第一批试点学校以来,我国网络教育历经了若干年发展期,目前全国已有68所普通高等学校和中央广播电视大学开展现代远程教育。网络教育的实施大大加快了我国高等教育的大众化进程,使之成为高等教育的一个重要组成部分;随着它的不断发展,也必将对我国终身教育体系的形成和学习型社会的构建起到极其重要的作用。

华东理工大学是国家“211工程”重点建设高校,是教育部批准成立的现代远程教育试点院校之一。华东理工大学网络教育学院凭借其优质的教育教学资源、良好的师资条件和社会声望,自创建以来得到了迅速的发展。但网络教育作为一种不同于传统教育的新型教育组织形式,如何有效地实现教育资源的传递,进一步提高教育教学效果,认真探索其内在的规律,是摆在我们面前的一个新的、亟待解决的课题。为此,我们与华东理工大学出版社合作,组织了一批多年来从事网络教育课程教学的教师,结合网络教育学习方式,陆续编撰出版一批包括图书、课程光盘等在内的远程教育系列教材,以期逐步建立以学科为先导的、适合网络教育学生使用的教材结构体系。

掌握学科领域的基本知识和技能,把握学科的基本知识结构,培养学生在实践中独立地发现问题和解决问题的能力是我们组织教材编写的一个主要目的。系列教材包括了计算机应用基础、大学英语等全国统考科目,也涉及了管理、法学、国际贸易、机械、化工等多学科领域。

根据网络教育学习方式的特点编写教材,既是网络教育得以持续健康发展的基础,也是一次全新的尝试。本套教材的编写凝聚了华东理工大学众多在学科研究和网络教育领域中有丰富实践经验的教师、教学策划人员的心血,希望它的出版能对广大网络教育学习者进一步提高学习效率予以帮助和启迪。

华东理工大学副校长



前 言

随着计算机技术的飞速发展,微型计算机在工业、农业、国防、科研、教育等领域得到了广泛的应用,尤其近年,随着数字信号处理和嵌入式的发展,已经将微型计算机的应用推广到了生活电子产品中。

本书针对目前的实际应用,以 16 位的 8086 为主介绍了微型计算机原理与接口技术。本书详细介绍了 80x86 的结构、指令系统、汇编语言程序设计、存储器技术、常用数字接口以及数模/模数转换。全书共分为 8 章。第 1 章微型计算机概述,通过一个模型机介绍了计算机的五大组成部件、三总线结构及计算机工作过程,以期使读者建立计算机整机概念,同时介绍计算机中的数制和编码,介绍计算机中的数制及其相互转换,带符号数的表示方法,十进制数的二进制编码(BCD 码)以及字符的 ASCII 编码等;第 2 章微处理器及其系统结构,重点介绍 8086/8088 CPU 的内部结构、寄存器结构、引脚功能以及存储器管理等;第 3 章寻址方式和指令系统,在简要介绍 80x86 指令格式后重点介绍操作数和转移地址的寻址方式以及 80x86 指令系统;第 4 章汇编语言程序设计,介绍面向 80x86 的汇编语言程序设计方法;第 5 章存储器,在简要介绍半导体存储器的分类和基本存储单元电路的基础上,重点介绍常用的几种典型存储器芯片及其与 CPU 之间的连接与扩展问题,并对目前广泛应用的几种新型存储器芯片做了简要介绍;第 6 章基本输入输出接口与中断技术,介绍输入/输出接口的基本概念,CPU 与外设间数据传送的方式,重点介绍中断传送方式及其相关技术;第 7 章常用可编程接口芯片,介绍与 80x86 系列微处理器配套使用的通用可编程接口芯片的原理及应用技术。第 8 章主要讲解了 DA 与 AD 转换接口。

本书在结构上特别注意学生自学,在每一个重要知识点均用实例进行讲解。全书结构合理,注重应用,实例丰富,叙述上力求深入浅出。

本书第 1 章、第 3 章、第 8 章由蒋翠玲编写,其余章节由庞毅林编写。庞毅林负责本书大纲拟订与统稿工作。

由于作者水平所限,书中难免存在一些不足与疏漏之处,恳请读者不吝指正。

目 录

第 1 章 微型计算机概述	1
1.1 微型计算机发展概述	1
1.2 计算机中的数据表示及编码	3
1.2.1 进位计数制及数制转换	3
1.2.2 数值数据的表示	6
1.2.3 微机系统的组成与工作过程	14
第 2 章 微处理器及其系统结构	19
2.1 8086/8088 CPU 的结构	19
2.1.1 引言	19
2.1.2 8086 微处理器的一般性能特点	19
2.1.3 8086/8088 CPU 的功能结构	20
2.1.4 8086/8088 CPU 寄存器组	22
2.2 8086/8088 CPU 芯片的引脚及其功能	25
2.2.1 8086 CPU 的两种工作模式	26
2.2.2 8086/8088 CPU 在最小模式中的引脚定义	26
2.2.3 8086 CPU 在最大模式中的引脚定义	29
2.3 8086/8088 存储器的结构	30
2.4 工作模式及其系统结构	33
2.4.1 最小模式系统总线的形成	33
2.4.2 最大模式系统总线的形成	36
2.5 8086/8088 CPU 时序	38
2.5.1 最小模式系统总线周期	39
2.5.2 最大模式下的典型时序	43
第 3 章 寻址方式和指令系统	46
3.1 Intel x86 的寻址方式	46
3.1.1 立即数寻址	48
3.1.2 寄存器寻址	48
3.1.3 直接寻址	49
3.1.4 寄存器间接寻址	50
3.1.5 变址寻址	51

3.1.6	基址加变址寻址	52
3.1.7	相对基址变址寻址	52
3.2	Intel x86 指令系统	53
3.2.1	数据传送指令	54
3.2.2	算术运算指令	60
3.2.3	逻辑运算指令	67
3.2.4	串操作指令	69
3.2.5	控制转移类指令	73
3.2.6	移位指令	76
3.2.7	标志处理与处理器控制指令	78
第4章	汇编语言程序设计	81
4.1	汇编语言的基本元素	81
4.1.1	汇编语言的语句格式	81
4.1.2	程序结构	82
4.1.3	汇编语言的运算符	83
4.1.4	汇编语言程序汇编步骤	86
4.2	伪指令	86
4.2.1	数据定义语句	86
4.2.2	符号定义语句	88
4.2.3	段定义语句	89
4.2.4	过程定义伪指令	91
4.2.5	宏指令	91
4.3	汇编程序设计	93
4.3.1	顺序程序设计	94
4.3.2	分支程序设计	94
4.3.3	循环程序设计	97
4.3.4	子程序设计	101
4.3.5	DOS 功能调用	105
第5章	存储器	109
5.1	存储器概述	109
5.1.1	存储器的分类	109
5.1.2	存储器的层次结构	111
5.1.3	存储器的系统结构	112
5.1.4	存储器的技术指标	113
5.2	读写存储器 RAM	114
5.2.1	静态读写存储器(SRAM)	115
5.2.2	动态 RAM(DRAM)	118

5.3 只读存储器(ROM)	121
5.4 存储器与 CPU 的连接	124
5.4.1 存储器的地址选择	125
5.4.2 存储器容量扩展	127
5.4.3 字、位同时扩展	130
5.4.4 存储器设计举例	132
第6章 基本输入输出接口与中断技术	135
6.1 输入输出接口概述	135
6.1.1 I/O 接口的基本结构	135
6.1.2 I/O 接口的基本功能	136
6.1.3 I/O 接口的编址方式	137
6.2 输入/输出数据的传输控制方式	138
6.2.1 无条件传送方式	138
6.2.2 程序查询传送方式	139
6.2.3 中断传送方式	141
6.2.4 DMA 传送方式	142
6.3 Intel x86 微处理器实模式下的中断操作	143
6.3.1 中断基本概念	143
6.3.2 中断过程	143
6.3.3 中断分类与中断类型	146
6.3.4 中断向量与中断向量表	148
6.3.5 中断响应过程与时序	150
6.4 中断控制器 8259A	151
6.4.1 8259A 的结构及主要功能	151
6.4.2 8259A 的工作方式	153
6.4.3 8259A 工作过程	157
6.4.4 8259A 的控制命令字及编程	158
6.4.5 8259A 在系统中的应用举例	164
第7章 常用可编程接口芯片	168
7.1 DMA 控制器 8237	168
7.1.1 DMA 概述	168
7.1.2 DMA 控制器 8237 的结构	169
7.1.3 8237 的内部寄存器	172
7.1.4 8237 的软命令	175
7.1.5 8237 的工作时序	176
7.1.6 8237 的编程和举例	177
7.2 可编程定时器/计数器	178

7.2.1 定时与计数	178
7.2.2 定时/计数器芯片 Intel 8253	179
7.3 可编程并行接口芯片 8255A	189
7.3.1 并行通信与接口	189
7.3.2 8255A 的编程结构	189
7.3.3 8255A 的引脚功能	190
7.3.4 8255A 的工作方式	191
7.3.5 8255A 的编程及应用	195
7.5.6 接口应用举例	197
7.4 串行通信接口	198
7.4.1 串行通信概述	198
7.4.2 串行通信传输方式	199
7.4.3 传输速率与波特率	202
7.4.4 串行通信协议	203
7.4.5 RS-232 标准	206
7.4.6 可编程串行异步通信接口 8250	208
第8章 DA 与 AD 转换接口	221
8.1 概述	221
8.2 D/A 转换器(DAC)	222
8.2.1 D/A 转换器的工作原理	222
8.2.2 D/A 转换器的主要技术指标	226
8.2.3 D/A 转换器的芯片	227
8.3 A/D 转换器(ADC)	229
8.3.1 A/D 转换基本原理	229
8.3.2 A/D 转换器的工作原理	231
8.3.3 ADC 的转换精度和转换速度	232
8.3.4 集成 ADC	233
8.3.5 ADC 0809 与 CPU 的接口	235
参考文献	237

第 1 章 微型计算机概述

【知识要点】

- 微型计算机发展概述
- 二进制、八进制、十六进制、十进制数的相互转化
- 数值数据的定点数浮点数表示以及原码补码表示
- 微机的组成
- 系统总线
- 微机系统的工作过程

1.1 微型计算机发展概述

计算机系统是能够自动地、快速地、准确地进行信息处理的电子工具,其工作过程的实质是电子器件状态的快速变化。

1946 年,世界上出现了第一台由电子管构成的,能够按照人们事先的安排,快速完成所要求计算任务的 ENIAC 电子计算机。此后,计算机及其相关技术经历了一个快速发展的过程。

一般来说,电子计算机发展历程的各个阶段,是以其所采用的电子器件的不同来划分的,即电子管、晶体管、中小规模集成电路和大规模及超大规模集成电路计算机。

微型计算机属于第四代电子计算机产品,即大规模及超大规模集成电路计算机,是电路技术不断发展,芯片集成度不断提高的产物。

主机按体积分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五类,从其工作原理上来讲,微型机与其他几类计算机并没有本质上的差别。所不同的是由于采用了集成度较高的器件,使得其在结构上具有独特的特点,即将组成计算机硬件系统的两大核心部分——运算器和控制器,集成在一片集成电路芯片上,显然该芯片是整个微机系统的核心,称为中央处理器 CPU,或者微处理器 MPU。

微处理器是微机系统的核心部分,自 20 世纪 70 年代初出现第一片微处理器芯片以来,微处理器的性能和集成度几乎每两年翻一番,其发展速度大大超过了前几代计算机。

微机系统及其相关技术的发展,主要涉及以下几个方面:CPU、主频、缓存、新技术。

微机系统的核心部件为 CPU,因此我们主要以 CPU 的发展、演变过程为线索,来介绍微机系统的发展过程,主要以 Intel 公司的 CPU 为主线。

第一代:4 位及低档 8 位微处理器

◇ 1971 年,Intel 公司推出了第一片 4 位微处理器 Intel 4004,以其为核心组成了一台高级袖珍计算机。随后出现的 Intel 4040,是第一片通用的 4 位微处理器。

◇ 1972 年,Intel 8008,8 位微处理器,集成度约 2 000 管/片,时钟频率为 1 MHz。

第二代:中、低档 8 位微处理器

◇ 1973—1974 年,Intel 8008、M 6800、Rockwell 6502,8 位微处理器,集成度为 5 000 管/片,时钟频率为 2~4 MHz。这一时期,微处理器的设计和生产技术已经相当成熟,组成微机系统的其他部件也愈来愈齐全,系统朝着提高集成度、提高功能与速度,减少组成系统所需的芯片数量的方向发展。

第三代:高、中档 8 位微处理器

◇ 1975—1976 年,Z-80、Intel 8085,8 位微处理器,时钟频率为 2~4 MHz,集成度约 10 000 管/片,还出现了一系列单片机。

第四代:16 位及低档 32 位微处理器

◇ 1978 年,Intel 首次推出 16 位微处理器 8086(时钟频率达到 4~8 MHz),8086 的内部和外部数据总线都是 16 位,地址总线为 20 位,可直接访问 1 MB 内存单元。

◇ 1979 年,Intel 又推出 8086 的姊妹芯片 8088(时钟频率达到 48 MHz),集成度达到 2 万~6 万管/片。它与 8086 不同的是外部数据总线为 8 位(地址总线为 20 位)。

◇ 1982 年,Intel 推出了 80286(时钟频率为 10 MHz)。该芯片仍然为 16 位结构,但地址总线扩展到 24 位,可访问 16 MB 内存,其工作频率也较 8086 提高了许多。80286 向后兼容 8086 的指令集和工作模式(实模式),并增加了部分新指令和一种新的工作模式——保护模式。

◇ 1985 年,Intel 又推出了 32 位微处理器 80386(时钟频率为 20 MHz)。该芯片的内外部数据线及地址总线都是 32 位的,可访问 4 GB 内存,并支持分页机制。除了实模式和保护模式外,80386 又增加了一种“虚拟 8086”的工作模式,可以在操作系统控制下模拟多个 8086 同时工作。

◇ 1989 年,Intel 推出了 80486(时钟频率为 30~40 MHz),集成度达到 15 万~50 万管/片(168 个脚),甚至上百万管/片。早期的 80486 相当于把 80386 和完成浮点运算的数学协处理器 80387 以及 8 KB 的高速缓存集成到一起,这种片内高速缓存称为一级(L1)缓存,80486 还支持主板上的二级(L2)缓存。后期推出的 80486 DX2 首次引入了倍频的概念,有效缓解了外部设备制造工艺跟不上 CPU 主频发展速度的矛盾。

第五代:高档 32 位微处理器

◇ 1993 年,Intel 公司推出了新一代高性能微处理器 Pentium(奔腾),Pentium 最大的改进是它拥有超标量结构(支持在一个时钟周期内执行一至多条指令),且一级缓存的容量增加到了 16 KB,这些改进大大提升了 CPU 的性能,使得 Pentium 的速度比 80486 快数倍。除此之外,Pentium 还具有良好的超频性能,能把一个低主频 CPU 当作高主频 CPU 来使用,使得人们花费较低的代价可获得较高的性能。

◇ 1996 年,Intel 公司推出了 Pentium Pro(高能奔腾)。该芯片具有两大特色:一是片内封装了与 CPU 同频运行的 256 KB 或 512 KB 二级缓存;二是支持动态预测执行,可以打乱程序原有指令顺序,按照优化顺序同时执行多条指令。这两项改进使得 Pentium Pro 的

性能有了质的飞跃。

◇ 1997年初, Intel 发布了 Pentium 的改进型号——Pentium MMX(多能奔腾), 将一级缓存提高到 32KB, 同时增加了 57 条 MMX(多媒体扩展)指令, 有效地增强了 CPU 处理音频、图像和视频等多媒体应用的能力。

◇ 1997年, Intel 推出了 P II。P II 是对 Pentium Pro 的改进, 因为其核心结构与 Pentium Pro 类似, 但加快了 16 位指令的执行速度, 且支持 MMX 指令集。

◇ 1998年, Intel 推出了赛扬(Celeron)。其特点是去掉了 P II 的二级缓存以及其他可以省略的东西, 从而降低了价格。

◇ 1999年, Intel 又推出了开发代号为 Coppermine 的 P III。该芯片加入了引起争议的 CPU 序列号功能, 支持 SSE(Streaming SIMD Extensions, 单一指令多数据流扩展)指令集, 这是针对 MMX 的弱点和 3DNow! 设计的 70 条新指令, 大大加强了 CPU 在三维图像和浮点运算方面的能力。

◇ 2000年3月底, Intel 又推出了 P V。

CPU 芯片的发展趋势为基因芯片和光电芯片。

1.2 计算机中的数据表示及编码

1.2.1 进位计数制及数制转换

一般将数值、文字、符号、语音和图形等统称为信息。在计算机内部, 信息都必须用数字化的形式进行存储、加工和传送, 不同信息要通过编码来表示。数字化信息编码的两个要素为少量简单的基本符号和一定的组合规则。计算机中普遍选用两个基本符号——1 和 0。其优点是: 基本符号数量少, 物理上容易实现; 用 0 和 1 表示的数值运算规则简单; 与二值逻辑的真、假两个值对应简单。

人类在长期的生产劳动实践中创造了我们最熟悉的十进制, 而生活中还有十二进制和十六进制等多种数系, 其共同之处是采用进位计数制。

1) 进位计数制

在人类社会活动中采用的是进位计数制。目前常用的进位计数制有: (1)十进制; (2)六十进制(分、秒); (3)十二进制(年、时钟); (4)七进制(星期)等等。

进位计数制采用位置表示法, 即处于不同位置的同一数字符号, 所表示的数字不同。一般来说, 用 r 个基本符号(例如 $0, 1, 2 \cdots r-1$)通过排列起来的符号串表示数值, r 称为该数制的基。如数值 N 的表示为

$$N = D_{m-1} D_{m-2} \cdots D_1 D_0 D_{-1} D_{-2} \cdots D_{-k}$$

有权的基 r 数制, 每个 $D_i (-k \leq i \leq m-1)$ 的单位值都赋予固定的值 W_i , 则称 W_i 为该位的权。

N 代表的实际值可表示为

$$N = \sum_{i=-k}^{m-1} D_i \times W_i$$

进位计数制的编码符合“逢 r 进位”的规则,各位的权是以 r 为底的幂,一个数可以按权展开成多项式,例如“逢十进一”的十进制数 2011.5 可写为

$$\text{十进制数} \quad (2011.5)_{10} = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 1 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$$

$$\text{二进制数} \quad (110101)_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0$$

$$\text{八进制数} \quad (406)_8 = 4 \times 8^2 + 6 \times 8^0$$

$$\text{十六进制数} \quad (\text{AC7.B})_{16} = 10 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1}$$

计算机中常用的 4 种进位计数制中,二进制用于计算机内部,八进制和十六进制常用作二进制的缩写,十进制便于人员计算。其基和基本符号如下表示为:

二进制: $r=2$, 基本符号: 0 1;

八进制: $r=8$, 基本符号: 0 1 2 3 4 5 6 7;

十进制: $r=10$, 基本符号: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9;

十六进制: $r=16$, 基本符号: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F, 其中 A~F 表示十进制数 10~15;

为了便于识别,二进制数尾加 B 作为标识,十进制数尾加 D 作为标识(或省略),八进制数尾加 Q 作为识别,十六进制数尾则加 H 作为识别。使用 4 种进位计数制必然产生各种数制间的相互转换问题。

2) 进位计数制间的相互转换

不同进位计数制数据的转换,其实质是进行基数的转换,转换原则是根据如下原理:两个有理数相等,其整数部分和小数部分分别相等。故要分别进行转换。

(1) 二进制与十进制转换

① 二进制转换为十进制

二进制数转换成十进制数是很方便的,只要将二进制数写成按权展开式,并将式中各乘积项的积算出来,然后各项相加,即可得到与该二进制数相对应的十进制数。

$$\begin{aligned} \text{【例 1-1】} \quad (10110.01)_2 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 0 + 4 + 2 + 0 + 0 + 0.25 \\ &= (22.25)_{10} \end{aligned}$$

该转换规则同样适用于将八进制数和十六进制数转换为十进制数,只是相加各项是八进制或十六进制数符与数位权值之积。

【例 1-2】 将 312Q 和 2A.68H 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} (312)_8 &= 3 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 2 \times 8^0 = 3 \times 64 + 8 + 2 = 202\text{D} \\ (2\text{A}.68)_{16} &= 2 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} \\ &= 32 + 10 + 0.375 + 0.03125 \\ &= 42.40625\text{D} \end{aligned}$$

② 十进制转换为二进制

整数部分的转换方法——将十进制数连续用基数 2 去除,直到商数为 0 为止,每次除得的余数依次为二进制数由低到高的各位值,简称“除 2 取余”法。

【例 1-3】 将 $(98)_{10}$ 转换为二进制数。

2	98	余数	
2	49	0	最低位
2	24	1	
2	12	0	
2	6	0	
2	3	0	
2	1	1	
	0	1	最高位

所以, $(98)_{10} = 1100010B$ 。

同理, 将十进制数转换为 r 进制数, 按照“除 r 取余”的规则进行计算即可。

【例 1-4】十进制数 $(725)_{10}$ 转换为十六进制数。

按“除 16 取余”方法进行。

16	725	余数5
16	45	余数13 (D)
16	2	
	0	余数2

转换结果: $(725)_{10} = (2D5)_{16}$

小数部分的转换方法——将十进制小数部分连续乘以 2, 每次所得乘积的整数部分, 依次为二进制数从高到低的各位值。该转换规则简称为“乘 2 取整法”。

【例 1-5】将 0.375D 转换为二进制数。

0.375		
× 2	整数	
0.75	0	最高位
× 2		
1.5	1	
0.5		
× 2		
1.0	1	最低位

所以 $(0.375)_{10} = (0.011)_2$

需要注意的是, 十进制小数常常不能准确地换算为等值的二进制数, 有换算误差存在, 转换后的二进制数位数, 根据字长限制取有限位的近似值。

同理, 十进制小数转换为 C 进制, 可以按照“乘 r 取整”方法进行。对于具有整数和小数的复合十进制数, 只要将整数部分和小数部分分别按照上述转换方法进行, 最后将其二进制整数部分和小数部分用小数点连接即可。例如从上述两例可得

$$(98.735)_{10} = (1100010.011)_2$$

(2) 二进制与八进制和十六进制之间转换

由于八进制、十六进制数既可简化书写, 又便于记忆, 而且与二进制之间转换方便、直观, 因此在汇编语言程序及机器语言中, 指令和数据的书写多采用八进制和十六进制。由于八进制、十六进制的基数与二进制有内在联系, 即 $2^3 = 8$ 、 $2^4 = 16$ 。因此, 每一位八进制数可以转换为三位二进制数, 每一位十六进制数可以转换为四位二进制数, 转换直接且方便。

① 二进制数与八进制数转换

将二进制数以小数点为界, 左右分别按照三位一组划分, 不足三位者用零补齐, 即可换算出对应的八进制数。

【例 1-6】 把 1101011.1101B 转换为八进制数。

$$001101011.110100$$

$$1 \quad 5 \quad 3.6 \quad 4$$

即 $(1101011.1101)_2 = (153.64)_8$

反之,由八进制转换为二进制只需要把各自对应的三位二进制写出即可。

【例 1-7】 63.52Q 转换为二进制数。

$$\begin{aligned} 63.52Q &= (110)(011).(101)(010)B \\ &= 110011.10101B \end{aligned}$$

② 二进制数与十六进制数转换

将二进制数转换为十六进制数和将二进制数转换为八进制数方法一样,只是将二进制数按照四位一组进行划分转换。

【例 1-8】 把 10111001.01101B 转换为十六进制数。

$$\begin{aligned} 10111001.01101B &= (1011)(1001).(0110)(1000)B \\ &= B \quad 9 \quad .6 \quad 8 \end{aligned}$$

所以, $10111001.01101B = B9.68H$

反之,将十六进制数各位数码用相应四位二进制数表示,即可转换为等效的二进制数。

【例 1-9】 把 5F.7A5H 转换为二进制数。

$$\begin{aligned} 5F.7A5H &= (0101)(1111).(0111)(1010)(0101)B \\ &= 1011111.011110100101B \end{aligned}$$

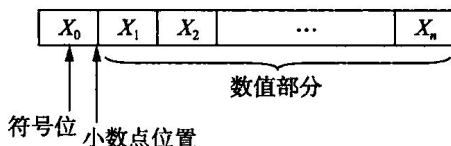
1.2.2 数值数据的表示

1) 机器数的定点和浮点表示

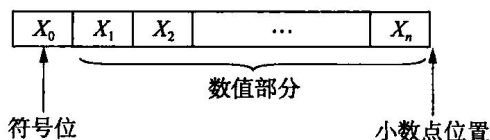
把数值数据送入计算机处理,仅转换为二进制还不行,必须解决数的符号表示、小数点位置以及用有限设备表示有效数值范围等问题。数在机器内部的表示形式称为机器数,而计算机对应的数值称为机器数的真值。机器数被存放在有记忆功能的存储器件中。机器数的符号是数字化处理的,用一位编码表示,通常用 0 表示正数,1 表示负数。计算机处理小数点的方式有两种:定点表示法和浮点表示法。定点表示法中,所有数的小数点都固定到有效数位间的同一位置;浮点表示法中,一个数的小数点可以在有效数位间任意游动。小数点的位置固定不变的数叫定点数;小数点可以在有效数位间任意游动的数称为浮点数。按照规定的格式,机器数有定点和浮点两种表示形式。

(1) 定点表示

计算机内,通常采取两种极端的形式表示定点数。要么所有数的小数点都固定在最高位,成为定点的纯小数机;要么所有数的小数点都固定在最低位,成为纯整数机。在定点的纯小数机中,若不考虑符号位,设 X 的表示形式为 $X = X_0.X_1X_2\cdots X_n$ (其中 X_0 为符号位, $X_1 \sim X_n$ 是数值部分,也称为尾数, X_1 为最高有效位),则在计算机中的表示形式为



定点的纯整数机中,设 X 的形式为 $X=X_0X_1X_2\cdots X_n$ 。(其中 X_0 为符号位, $X_1\sim X_n$ 是数值部分,也称为尾数, X_n 为最低有效位),则在计算机中的表示形式为



以上两种定点数的表示,计算机均可采用,目前微型机中,多采用定点整数形式。这里需要强调的是:小数点位置是假想位置,在机器设计时将表示形式约定好,则各种部件及运算线路均按约定形式进行设计。

机器数字长确定后,其数值表示范围即可确定。例如对定点小数,机器数字长 N 位,其中一位符号位, n 位有效数值,则 N 位定点小数表示范围为

$$\begin{array}{ccc} 1.1 & 1\cdots 1 & 1 \text{ (最小值)} \\ \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\ & n\text{位} & n\text{位} \end{array} \quad \text{到} \quad \begin{array}{ccc} 0.1 & 1\cdots 1 & 1 \text{ (最大值)} \\ \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\ & n\text{位} & n\text{位} \end{array}$$

对应真值表示范围为

$$-(1-2^{-n}) \leq X \leq 1-2^{-n}$$

例如, $N=16$, 则对应表示的真值范围为

$$-(1-2^{-15}) \leq X \leq 1-2^{-15}$$

用 n 位设备存放定点整数,则所能表示的真值范围为负 n 位全 1 到正 n 位全 1,即

$$-(2^n-1) \leq X \leq 2^n-1$$

若 $N=16$, 则对应表示范围为

$$-(2^{15}-1) \leq X \leq 2^{15}-1$$

若用 n 位表示无符号整数,则其整数值表示范围为

$$0 \sim 2^n-1$$

计算机中参加运算的数,若超过计算机所能表示的数值范围,则称为溢出。这时,计算机要对溢出进行相应处理操作。

(2) 浮点表示

电子的质量(9×10^{-28} 克)和太阳的质量(2×10^{33} 克)相差甚远,在定点计算机中无法直接表示这两个数值。要把它们送入定点计算机进行某种运算,必须对它们分别取不同的比例因子,使其数值部分的绝对值小于 1,即

$$9 \times 10^{-28} = 0.9 \times 10^{-27}$$

$$2 \times 10^{33} = 0.2 \times 10^{34}$$

当阶码值不固定时,数的小数点实际位置将根据阶码值相对浮动,这就构成数的浮点表示。浮点表示要把机器数分为两部分,一部分表示阶码,另一部分表示尾数,阶码和尾数均有各自的符号位。阶符表示数的实际小数点相对约定小数点位置的浮动方向为:若阶符为负,实际小数点在约定小数点左边,反之在右边,其位置则由阶码值确定;尾数符号代表了浮

点数的符号。

通常浮点数被表示成

$$N=r^E \times M$$

式中, M 为尾数, 可正可负, 而且一般以纯小数形式表示; E 是比例因子的指数, 称为浮点数的阶码, 可正可负, 是一个整数; r 是基数(或基值), 可取 2、4、8 或 16 等。一种浮点数表示形式如图 1-1 所示。

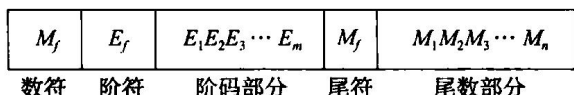


图 1-1 一种浮点数表示形式

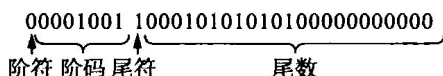
【例 1-10】 某计算机用 32 位表示浮点数, 尾数部分占 24 位, 为补码定点纯小数; 阶码为 8 位补码定点纯整数。用来表示数 -469.375 的浮点形式, 应先进行下列变换:

$$\begin{aligned}
 (-469.375)_{10} &= (-111010101.011)_2 \\
 &= (-0.111010101011)_2 \times 2^{+9} \\
 &= (-0.111010101011)_2 \times 2^{+1001}
 \end{aligned}$$

尾数部分的补码表示: $[-0.111010101011]_{\text{补}} = 100010101010100000000000\text{B}$

阶码部分的补码表示: $[+1001]_{\text{补}} = 00001001\text{B}$

因此, 数 -469.375 在计算机中用补码表示的浮点数为



若尾数用 n 位小数表示, 浮点数的表示范围根据阶码位数 r 和尾数位数 n 决定, 其浮点数表示范围为

$$\begin{aligned}
 a &= (2^r - 1) \\
 -2^a \times (1 - 2^{-n}) &\leq X \leq +2^a \times (1 - 2^{-n})
 \end{aligned}$$

例如对十六位机器字长, 阶码 4 位(包括一位符号), 尾数 12 位(包括一位符号), 则数值表示范围如下计算:

$$\begin{aligned}
 a &= (2^3 - 1) = 7 \\
 -2^7 \times (1 - 2^{-11}) &\leq X \leq +2^7 \times (1 - 2^{-11}) \\
 \text{即 } -128 \times (1 - 2^{-11}) &\leq X \leq +128 \times (1 - 2^{-11})
 \end{aligned}$$

可以看出, 要扩大数的表示范围, 应增加阶码的位数; 而要增加精度, 就需要增加尾数的位数。对同样的字长, 浮点数比定点数表示的数值范围要大许多, 但浮点数运算操作复杂。浮点数产生的溢出, 实质上是阶码的溢出。

浮点数的规格化: 我们知道, 一个数所能保留的有效数位越多, 其精度也就越高。假设有下面三个浮点数:

$$A=0.001011 \times 2^6 \quad B=0.1011 \times 2^4 \quad C=0.00001011 \times 2^8$$