

易学易用

计算机系列教程



高 镇 韦 超 主 编
李纪龙 李宏伟 副主编

汇编语言程序设计



黑龙江大学出版社
HEILONGJIANG UNIVERSITY PRESS



汇编语言程序设计

高 宾 韦 超 主 编
李纪龙 李宏伟 副主编



黑龙江大学出版社
HEILONGJIANG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

汇编语言程序设计/高镔,韦超主编. —哈尔滨:黑龙江大学出版社,2008.10

ISBN 978 - 7 - 81129 - 068 - 4

I. 汇… II. ①高…②韦… III. 汇编语言 - 程序设计
IV. TP313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 157134 号

责任编辑 赵丽华

封面设计 乐然纸尚

汇编语言程序设计

HUIBIANYUYAN CHENGXUSHEJI

高 镔 韦 超 主 编

李纪龙 李宏伟 副主编

出版发行 黑龙江大学出版社

地 址 哈尔滨市南岗区学府路 74 号 邮编 150080

电 话 0451 - 86608666

经 销 新华书店

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

版 次 2008 年 10 月 第 1 版

印 次 2008 年 10 月 第 1 次印刷

开 本 787 × 1092 毫米 1/16

印 张 16.75

字 数 410 千

书 号 ISBN 978 - 7 - 81129 - 068 - 4/T · 11

定 价 31.00 元

凡购买黑龙江大学出版社图书,如有质量问题请与本社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

随着计算机技术的发展,计算机应用水平的不断提高,社会对计算机的依赖也日益加强。信息技术的发展和应用水平已经成为一个国家发展的重要因素之一。

汇编语言是一种程序设计语言,是除机器语言之外当今时空性最好、直接控制硬件底层能力最强的语言,与硬件系统密切相关。利用汇编语言可以编写出时空效率高的程序,在某些领域,汇编语言仍然是必不可少的编程语言之一。由于汇编语言本身的特点,学习汇编语言离不开实际的计算机系统,本教材选择了当今广为流行的以 Intel 80x86 系列的 PC 作为硬件平台,讨论学习汇编语言程序设计相关的知识。

汇编语言程序设计是一门重要的专业设计课程。在计算机科学与技术的知识体系当中,“汇编语言程序设计”课程的教学内容属于计算机系统结构方面。汇编语言配合“计算机组成原理”和“微机原理及接口技术”等相关课程,帮助学生从软件角度理解计算机工作原理。通过本课程的学习,不仅可获得计算机系统中有关软件方面的基础知识,而且可为将来从事计算机应用打下良好的理论和技术基础。另外,在本课程的学习过程中,将涉及数制、二进制运算、逻辑运算、数据的存储等基础知识。

通过对汇编语言的学习,学生能够比较全面地了解程序设计语言,利于更深入地学习和应用高级语言。随着高级语言的发展、可视化开发工具的应用,汇编语言往往被应用程序开发人员所忽略,其应用领域也逐渐萎缩。但是,作为一个面向机器的程序设计语言,汇编语言具有直接有效控制硬件的能力,能够编写出运行速度快、代码量小的高效程序,在许多场合具有不可替代的作用,例如操作系统的核心程序段、实时控制系统的软件等。

全书共分为 10 章,第 1 章、第 6 章和第 8 章由高镇编写;第 2 章、第 4 章和第 9 章由韦超编写;第 3 章、第 5 章和第 7 章由李纪龙编写;第 10 章由李宏伟编写。

本书编写参照国内高校“汇编语言程序设计”课程的本、专科教学大纲,并兼顾了相关专业教学要求。第 1 章主要介绍学习汇编语言程序设计所需要的基本知识,包括微型计算机系统的软硬件组成和数据表示方式,也简要介绍了汇编语言的特点。第 2 章详尽介绍了 80x86 及 Pentium 微处理器的结构和存储器管理;第 3 章介绍了微型机的寻址方式和指令系统。第 4 章本章主要介绍了汇编语言的语句格式、伪指令、汇编语言的源程序结构及汇编语言的上机过程等内容。第 5 章结合具体实例,介绍了使用顺序结构、分支结构和循环结构设计汇编语言程序的基本方法,三种基本结构的结合可以设计出功能强大的汇编语言源程序。第 6 章主要介绍了子程序的定义、特性、子程序的调用和返回指令、子程序的结构形式、子程序的参数传递方法、嵌套子程序、递归子程序等内容,并给出了一些比较综合的例子。第 7 章介绍了三种高级汇编语言技术——宏汇编、重复汇编和条件汇编。第 8 章介绍了实模式下中断服务程序和输入输出程序的设计方法,还介绍了磁盘文件的存取方法。第 9 章主要介绍了汇编语言和高级语言的混合编

程。第 10 章介绍了在设计大型程序时,通常要用到的模块化设计方法,模块化程序设计方法不仅可以提高程序开发的并行性,而且使设计出来的程序可维护性与可读性强。

本书采用浅显、明晰、循序渐进的描述方法,具有前后对照、贯穿始终的风格。计算机硬件技术发展速度很快,但是最根本的知识还是不变的。本书立足于基础,重点介绍汇编语言中最基本的 Intel 80x86 系列微处理器的知识、实模式汇编语言程序设计;同时对 Windows 环境下保护模式下汇编语言程序设计也作了介绍。每章尽量做到叙述清晰简洁,还举出有代表性的例子供读者参考,为了便于读者理解,在程序的关键地方给以注释。每章后还配有一定的习题,供读者加深对知识的理解和锻炼实际运用能力。为了尽量不使本书的篇幅过多,有些内容本书中没有介绍或简单进行介绍。有兴趣的读者可以查阅相关的资料。

本书适合本、专科计算机科学与技术专业及相关专业学生学习汇编语言使用。

尽管在编写此书过程中作者作了许多努力,但由于水平有限,书中难免存在缺点和疏漏之处,请读者批评指正。

编 者
2008 年 8 月

目 录

第1章 基础知识	1	2.3.1 通用寄存器	33
1.1 计算机概述	1	2.3.2 指针及变址寄存器	34
1.1.1 什么是电子计算机	1	2.3.3 段寄存器	34
1.1.2 电子计算机的发展	1	2.3.4 控制寄存器	35
1.1.3 计算机的特点、分类与 应用	4	2.4 存储器	36
1.2 数制与编码	5	2.4.1 基本概念	36
1.2.1 数制及其相互转换	5	2.4.2 存储器分段管理	37
1.2.2 不同数制之间的转换	7	2.4.3 实模式存储器寻址	38
1.2.3 计算机中数据的单位	10	2.4.4 保护模式存储器寻址	42
1.2.4 计算机中数据的表示	10	2.5 PC 操作系统的发展	42
1.3 微型计算机系统的基本组成	13	2.5.1 MS-DOS	42
1.3.1 计算机的硬件系统	13	2.5.2 桌面 Windows 系统	43
1.3.2 计算机的软件系统	17	2.5.3 Windows NT 系列	44
1.3.3 微型计算机的主要技术 指标	17	2.5.4 红旗 Linux	44
1.4 汇编语言的特点	18	2.6 DOS 内存布局	45
1.4.1 程序设计语言	18	小结	45
1.4.2 汇编语言的特点	19	习题二	46
1.4.3 汇编语言使用的场合	20	第3章 微型机寻址方式与 指令系统	47
小结	20	3.1 微型机的寻址方式	47
习题一	20	3.1.1 数据寻址方式	47
第2章 微处理器的组织结构	21	3.1.2 程序存储器寻址方式	50
2.1 基本概念	21	3.2 微型机的指令系统	51
2.1.1 指令执行周期	21	3.2.1 数据传送指令	51
2.1.2 内存的读取	24	3.2.2 算术运算指令	55
2.2 80x86 和 Pentium 微处理器 简介	25	3.2.3 十进制算术运算指令	59
2.2.1 80x86 和 Pentium 微处理器的 结构	25	3.2.4 逻辑指令	61
2.2.2 IA-32 三种运行模式	31	3.2.5 串处理指令	68
2.3 80x86 和 Pentium 微处理器的 寄存器结构	33	3.2.6 处理机控制指令	71
		小结	72
		习题三	73
		第4章 汇编语言程序结构	75
		4.1 汇编语言语句格式	75

4.1.1 语句类型	75	6.1.2 子程序的调用	140
4.1.2 语句格式	76	6.1.3 返回命令	142
4.2 汇编语言文件结构	78	6.1.4 保存与恢复寄存器	142
4.2.1 典型的.exe 文件结构	78	6.1.5 子程序设计中的参数 传送	144
4.2.2 典型的.com 文件结构	80	6.2 嵌套与递归子程序	149
4.3 伪指令	81	6.2.1 子程序的嵌套	149
4.3.1 符号定义伪指令	81	6.2.2 递归子程序	151
4.3.2 数据定义伪指令	82	6.3 子程序设计举例	151
4.3.3 段定义伪指令	85	小结	153
4.3.4 简化段定义伪指令	87	习题六	153
4.3.5 程序开始结束伪指令	88	第7章 高级汇编语言技术	154
4.3.6 指令集选择伪指令	88	7.1 宏汇编	154
4.3.7 过程定义伪指令	89	7.1.1 宏定义、宏调用和宏展开	154
4.4 汇编语言源程序结构	89	7.1.2 宏操作符	156
4.4.1 完整段定义结构	89	7.1.3 LOCAL 伪指令	158
4.4.2 简化段定义结构	89	7.1.4 宏嵌套	161
4.4.3 程序段前缀结构	90	7.1.5 宏库的使用	162
4.5 汇编语言程序上机过程	91	7.2 重复汇编	163
4.5.1 概述	91	7.3 条件汇编	165
4.5.2 建立汇编语言的工作 环境	91	小结	166
4.5.3 .exe 文件上机过程	92	习题七	166
4.5.4 .com 文件上机过程	100	第8章 中断与输入输出	168
小结	101	8.1 中断	168
习题四	101	8.1.1 中断概述	168
第5章 基本结构程序设计	103	8.1.2 中断分类	168
5.1 顺序结构程序设计	103	8.1.3 中断向量表	170
5.2 分支结构程序设计	106	8.1.4 BIOS 中断及中断调用	172
5.2.1 转移指令	107	8.1.5 DOS 功能调用概述	173
5.2.2 简单分支程序设计	110	8.1.6 基本 I/O 功能调用	173
5.2.3 多分支程序设计	112	8.1.7 中断处理程序的编写	175
5.3 循环结构程序设计	117	8.1.8 中断程序设计举例	176
5.3.1 循环指令	118	8.2 磁盘文件存取技术	177
5.3.2 简单循环程序设计	119	8.2.1 磁盘的记录方式	177
5.3.3 多重循环程序设计	131	8.2.2 文件控制块(FCB)的磁盘 存取方式	179
小结	137	8.2.3 标号磁盘存取方式	185
习题五	138	8.3 输入输出程序设计	188
第6章 子程序结构	139	8.3.1 I/O 指令	188
6.1 子程序的设计方法	139	8.3.2 程序查询控制方式	190
6.1.1 子程序的定义	139		

8.3.3 程序中断方式	191	第 10 章 模块化程序设计	219
8.3.4 直接存储器访问(DMA) 方式	194	10.1 模块化程序设计	219
8.3.5 通道传输方式	194	10.1.1 模块化程序设计步骤	219
小结	195	10.1.2 结构化程序设计	220
习题八	196	10.2 各模块间参数传递的方法	220
第 9 章 汇编语言与高级语言的混合 编程	197	10.2.1 常用伪指令	221
9.1 调用协议	197	10.2.2 模块之间的通信	221
9.1.1 入口参数传递规则	197	10.3 模块连接举例	225
9.1.2 返回值传递规则	197	10.3.1 模块程序设计上机 步骤	225
9.1.3 寄存器保护规则	198	10.3.2 模块连接	225
9.2 与 C 语言的接口	198	小结	228
9.2.1 模块连接法	199	习题十	228
9.2.2 伪变量法	210	参考文献	230
9.2.3 嵌入式汇编法	210	附录 A ASCII 码表	231
9.3 32 位环境下与 C/C++ 接口 ...	213	附录 B 动态调试程序 DEBUG	232
9.3.1 嵌入式汇编法	213	附录 C INT 21H 常用 DOS 功能调用 中断	235
9.3.2 C/C++ 程序调用汇编 语言过程	216	附录 D BIOS 中断调用	245
小结	217	附录 E 8088/8086 指令系统表	249
习题九	218	附录 F 伪操作表	256

第1章 基础知识

电子计算机(Electronic Computer)通常被称为“电脑”,而个人电脑——微型电子计算机又被人们称做“微机”。电子计算机已被广泛应用到各个领域,它已成为现代社会最为重要的信息处理工具。本章重点介绍了计算机的基础知识,作为学习汇编语言的准备。

1.1 计算机概述

1.1.1 什么是电子计算机

电子计算机是在电子技术代替了机械和继电器技术的基础上发展起来的,它是具有高速计算和内部存储能力、由程序控制其操作过程的电子设备。

1.1.2 电子计算机的发展

1. 计算机的发展过程

计算机是人类社会发展的必然产物,它是数学工具的发展和延伸。人类从远古时代利用手指、竹筹计数到今天使用计算机进行信息处理,经历了几千年的演变,其间是各种新、旧计算工具不断优胜劣汰的过程。我国春秋时期就使用了“筹算法”,唐代末期发明了算盘。近代,随着数学、物理学、天文学、机械学等科学技术的发展,又出现了比较先进的计算工具,如计算尺、手摇式计算机、电动式计算机等。经历了近3个世纪,到20世纪中期,随着新兴的电子学、物理学和数学的发展,以及社会发展的需要,诞生了世界上第一台电子计算机,开辟了计算机时代的新纪元。

世界上第一台电子计算机诞生于1946年2月,其名字的英文缩写为ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer),全称为“电子数值积分计算机”。它是由美国宾西法尼亚州立大学莫尔学院的莫奇莱教授和他的学生埃克特等人研制成功的。这台计算机采用电子管、继电器等电子元件作为基本部件,使用了18 800个电子管,1 500个继电器,70 000个电阻,10 000个电容,占地170 m²,重达30 t,耗电150 kw,运算速度每秒5 000次。与现代的计算机相比,它可谓是“庞然大物”,但它的诞生开创了计算机科学之先河,将科学家从烦琐复杂的计算劳动中解放出来。

以电子元件的发展作为划分的依据,可将计算机的发展划分为四代,如表1-1所示。

表 1-1 以电子元件为依据计算机的发展划分表

第一代 (1946—1958): 电子管计算机	1913 年电子管研制成功, ENIAC 的主要器件是 18 800 个电子管。这类计算机的特点如下。 ①主要器件: 电子管。 ②主存储器: 延迟线和磁鼓。 ③辅助存储器: 纸带、卡片和磁鼓。 ④速度: 几千到几万次/秒。 ⑤软件: 机器语言和汇编语言。 ⑥用途: 科学计算、军事研究。
第二代 (1959—1964): 晶体管计算机	1948 年出现了半导体技术, 研制成功了晶体管。1956 年开始用于制作晶体管计算机。这类计算机的特点如下。 ①主要器件: 晶体管。 ②主存储器: 磁芯。 ③辅助存储器: 磁带、磁盘。 ④速度: 几十万到百万次/秒。 ⑤软件: 高级语言程序 (FORTRAN 语言)、汇编语言程序及操作系统出现。 ⑥用途: 科学计算、过程控制、数据处理和事物处理。
第三代 (1965—1970): 集成电路计算机	20 世纪 60 年代中期出现了中、小集成电路 (IC) 技术, 就是将原来由数十个或数百个分散的电子元件所实现的功能, 集中制作在一个几平方厘米的芯片上。集成电路的体积更小、耗电更少、速度更快、可靠性进一步提高。应用这一技术的计算机特点如下。 ①主要器件: 集成电路。 ②主存储器: 半导体。 ③辅助存储器: 磁带、磁盘。 ④速度: 几百万次/秒到几千万次/秒。 ⑤软件和外部设备: 高级语言程序及操作系统进一步发展和完善, 外部设备增加。 ⑥用途: 科学计算、数据处理、远程终端联机系统和工业控制等领域。
第四代 (1971—): 大规模和超大规模集成电路计算机	从 20 世纪 70 年代开始出现了大规模集成电路 (LIC) 和超大规模集成电路 (VLIC) 技术, 集成电路的集成度愈来愈高, 一个芯片上集成数百万、数千万个电子元件。超大规模集成电路的出现为研制巨型计算机和微型计算机创造了条件。使巨型计算机的速度成倍提高, 微型计算机迅速普及。这类计算机的特点如下。 ①主要器件: 大规模、超大规模集成电路。 ②主存储器: 半导体。 ③辅助存储器: 磁盘、光盘。 ④速度: 几百万次到千亿次/秒。 ⑤软件: 高级语言、数据库、语言处理程序、操作系统等各类软件。 ⑥用途: 科学计算、过程控制、数据处理、计算机网络与分布式处理、软件工程、人工智能等各个领域。

表1-1中列举的四代计算机都基于同一工作原理:以程序存储和计算机硬件(运算器、控制器、存储器、输入和输出设备)为基本结构。这个思想是美籍匈牙利人冯·诺依曼(John Von Nouman)教授于1946年最早提出来的,并且一直沿用至今,因此,人们称这几类计算机为“冯·诺依曼”式计算机,称冯·诺依曼为“计算机鼻祖”。

2. 微型计算机的发展

第四代计算机的一个重要分支是以大规模、超大规模集成电路为基础发展起来的微处理器和微型计算机。微型计算机随着微处理器的发展而发展。自1971年以来,微处理器每隔二至四年就更新换代一次。微处理器性能的不断发 展,形成了微型计算机发展的四个不同阶段,这四个阶段通常被称为微型计算机发展的四代,如表1-2所示。

表1-2 以微处理器位数为依据的微型计算机的发展阶段

第一代:4位或8位微型计算机(始于1971年)	①微处理器: Intel4004, Intel8008, Intel8080, Z80, M6800。 ②字长:4位或8位。 ③主频:1~5 MHz。 ④主要产品:1971年 Intel 公司研制出 MCS4 型微型计算机(CPU 为 Intel4040,四位机),后来又推出以 Intel8008 为核心的 MCS-8 型、APPLE-II 型 8 位微型计算机。 这个阶段的微处理器结构和性能还不够完善,但它成为了微型计算机发展的里程碑。
第二代:16位微型计算机(始于1978年)	①微处理器: Intel8086, Intel8088, Z8000, MC68000。 ②字长:16位。 ③主频:4~10 MHz。 ④主要产品: IBM-PC (CPU 为 8086) 机, APPLE 公司的 Macintosh 机, IBM 公司的 PC/AT286 机。 这个阶段的微处理器结构和性能趋于完善。
第三代:32位微型计算机(始于1985年)	①微处理器: Z80000, Intel80386, Intel80486, Pentium。 ②字长:32位。 ③主频:10~60 MHz。 ④主要产品: IBM-PC/80386, IBM-PC/80486 和 IBM-PC/80586 机和 PC 兼容机。 这个阶段的微处理器结构和性能已经成熟,微型计算机开始普及应用。
第四代:32或64位微型计算机(始于1990年)	①微处理器有: Pentium(586), Pentium II, Pentium III, Pentium 4。 ②字长:32或64位。 ③主频:70 MHz~3.2GHz。 ④主要产品: IBM-P3-1.06G, 康柏 Evo D510 商用计算机, 浪潮 P4-3.0G 机和 P4, PC 兼容机等。英特尔宣布将在面向服务器的 32 位处理器“至强”中引进 64 位扩展技术。该技术与美国 AMD 的服务器处理器“Opteron”的 64 位技术大体相同。

3. 计算机的发展趋势

随着高新技术的发展,微型计算机不断更新换代,而且更新的时间愈来愈短,近几年来,几个月就有新的机型推出。继 Intel 80386 之后,Intel 公司先后推出 Intel 80486, Intel 80586 奔腾(Pentium)等微处理器。Pentium 芯片集成了 310 万个晶体管,有的厂家又推出 64 位 Pentium 微处理器,其芯片集成了 2 200 万个晶体管。今后计算机的发展将出现微型机和超大型机的两极分化现象,多媒体技术和计算机网络也将得到更快的发展。

(1) 巨型化

巨型机是指发展速度更快、存储容量更大、功能更强、可靠性更高的计算机。例如,美国“Star-100”和我国的“银河”机。现代巨型机已达到万亿次每秒的运算速度。

(2) 微型化

微型化主要是朝着以下几个方面发展:

- 体积越来越小;
- 集成度越来越高;
- 功能更强和可靠性更高;
- 价格更便宜;
- 适用范围更广。

(3) 网络化

网络化是指利用通信介质和通信设备将分布在不同地理位置的计算机系统及计算机网络相互连接起来,实现计算机资源共享和通信。

(4) 智能化

智能化是指使计算机模拟人的思维活动,利用计算机的“记忆”和“逻辑判断”能力来识别文字、图像和翻译各种语言,使其具有思考、推理、联想和证明等学习和创造的功能,真正替代人的思维活动和脑力劳动。

1.1.3 计算机的特点、分类与应用

1. 计算机的特点

(1) 运算速度快

目前,巨型机的运算速度已达每秒几千亿次,计算机速度已达每秒几十亿次。如现在的日气象预报,如果用以往的机械计算机要处理几十天,用现在的电子计算机只需几分钟就可以完成了。

(2) 计算精度高

由于科学技术的发展,对计算精度的要求愈来愈高。比如对人造卫星的发射、运行轨道的控制必须万分精确,否则差之毫厘,谬以千里。根据运算的需要,计算机的有效数字可以精确到几十位或上百位,足以达到所需要的精度。

(3) 具有存储功能

计算机不但能高速处理数据,而且还可以存储大量的数据、中间结果和程序,以备调用和执行,这是以往任何计算工具所不具备的功能。

(4) 具有逻辑判断功能

计算机不但能进行数值运算,而且还可以进行逻辑运算和逻辑推理。根据对数据的判断和比较,能确定要执行的操作或得出新的逻辑,这是以往任何计算工具所无法实现的

功能。

(5) 工作自动化

利用计算机解决问题时,只要将需处理的数据和解决问题的程序一起存储到计算机中,给计算机下达一个执行命令,计算机就开始按程序规定的步骤自动工作,直到结束。整个过程不需要人来控制和干预,这是它和其他计算工具最本质的区别。比如计算器就不具备这一功能。

(6) 具有处理多种信息的功能

当今的社会是高度信息化的社会,不但信息量大,而且信息形式多样化,除了数字、文字以外还有声音、图形、图像等信息。这些信息都可以用计算机来加工处理,这也是其他任何计算工具都做不到的。

(7) 网络化

随着互联网的普及,网络已被成功应用到电子商务、电子政务等诸多领域,并且已经成为人们工作以及日常生活不可缺少的工具。

综上所述,由于计算机具有这些特点和其他计算工具所无法比拟的功能,极大地推动了计算机技术的迅猛发展,拓展了计算机的应用领域,其前景将会更加广阔。

2. 计算机的分类

根据运算速度、存储能力、功能强弱、配套设备与软件系统的丰富程度等因素,可以将计算机划分为以下几类:

- (1) 大型机;
- (2) 中型机;
- (3) 小型机;
- (4) 微型计算机。

1.2 数制与编码

数据是指计算机能够接受和处理的数字、字母和符号的集合。人们所能感受到的各种信息(景象、消息、事实、知识等)都可以用数据来表示。存储在计算机中的字母、符号、图形、声音都是用二进制数编码表示的。在计算机中采用二进制数表示数据有两个原因:

(1) 容易实现。数据在机器中都是以器件的物理状态来表示的。例如,可用电子器件的截止和饱和两个稳态即高电平和低电平表示0和1。

(2) 容易表示。用二进制数表示更为简单和可靠,极大简化计算机的结构,运算速度也可大大提高。

本节将介绍计算机中各种数据之间的转换方法与编码。

1.2.1 数制及其相互转换

1. 进位计数制

进位计数制是一种数的表示方法,它按进位的方法来计数,简称为进位制。例如:

十进制数	321.54	逢十进一
六十进制数	60 秒为 1 分	逢六十进一
十二进制数	12 个月为 1 年	逢十二进一

十进制数(Decimal)有两个主要的特点:有 10 个不同的数字符号,即 0~9;逢“10”进位,借一当十。

因此,同一个数字符号在不同的位置(或数位)代表的数值是不同的。例如:888.88

8	8	8	8	8
百位	十位	个位	十分位	百分位

十进制数中,小数点左边第一位的 8 代表个位,它的值为 8×10^0 ;第二位的 8 代表十位,它的值为 8×10^1 ;第三位的 8 代表百位,它的值为 8×10^2 ;而小数点右边第一位 8 的值就为 8×10^{-1} ;第二位 8 的值就为 8×10^{-2} 。所以,这个数可以写成

$$(888.88)D = 8 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

其中,把 $10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}, 10^{-2}$ 称为 888.88 的位权。

对于任意一个十进制数 D,可以按下列公式展开:

$$D = D_{n-1} \times 10^{n-1} + D_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + D_{-m} \times 10^{-m}$$

若用 i 表示 D 的某一位, D_i 表示第 i 位的数码,它可以是 0~9 中的任一个,由具体的数 D 来确定; $10^{n-1}, 10^{n-2}, \cdots, 10^1, 10^0, 10^{-1}, \cdots, 10^{-m}$ 称为位权, m 和 n 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数; $D_{n-1} \times 10^{n-1}$ 称为第 $n-1$ 位的数值; 10 称为该计数制的基数,所以,该数是十进制数。

2. 二进制数的表示(Binary)

与十进制数类似,它也有两个主要特点:它有两个不同的数字符号 0 和 1;它是逢“2”进位的。

因此,不同的数码在不同的数位所代表的值也是不同的。

例如: $(11010.001)B = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$

任意一个二进制数 B 的展开式为:

$B = B_{n-1} \times 2^{n-1} + B_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + B_1 \times 2^1 + B_0 \times 2^0 + B_{-1} \times 2^{-1} + B_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + B_{-m} \times 2^{-m}$
其中 B_i 只能取 1 或 0,由具体的数 B 确定; $2^{n-1}, 2^{n-2}, \cdots, 2^1, 2^0, 2^{-1}, 2^{-2}, \cdots, 2^{-m}$ 称为位权; m 和 n 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数; 2 是进位制的基数,故称为二进制。

3. 八进制数的表示(Octal)

八进制数的特点:有八个不同的数码符号 0~7;逢“8”进位。

对于一个八进制数,它所在的位置不同,数码所表示的值也是不同的。

例如: $(431)Q = 4 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 1 \times 8^0$ (字母 O 与数字 0 容易混淆,通常用 Q 表示八进制数)

任意八进制数 Q,可以表示为:

$$Q = Q_{n-1} \times 8^{n-1} + Q_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + Q_1 \times 8^1 + Q_0 \times 8^0 + Q_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + Q_{-m} \times 8^{-m}$$

其中, Q_i 可取 0~7 之间的数,取决于数值 Q; $8^{n-1}, 8^{n-2}, \cdots, 8^1, 8^0, 8^{-1}, \cdots, 8^{-m}$ 称为位权; m 和 n 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数; 8 为进位制的基数,故称为八进制。

4. 十六进制数的表示(Hexadecimal)

十六进制数的特点:有 16 个不同的数码符号,包括 0~9 及 A, B, C, D, E, F。它与十进制和二进制之间的关系如表 1-3 所示;逢“16”进位。

对于一个十六进制数,它所在的位置不同,数码所表示的值也是不同的。

例如: $(43D)H = 4 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + D \times 16^0$

任意 16 进制的数 H , 可以表示为:

$$H = H_{n-1} \times 16^{n-1} + H_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + H_1 \times 16^1 + H_0 \times 16^0 + H_{-1} \times 16^{-1} + H_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + H_{-m} \times 16^{-m}$$

其中, H_i 可取 0 ~ 9 及 A, B, C, D, E, F 之中的数, 取决于数值 H ; $16^{n-1}, 16^{n-2}, \cdots, 16^1, 16^0, 16^{-1}, \cdots, 16^{-m}$ 称为位权; m 和 n 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数; 16 为进位制的基数, 故称为十六进制。

表 1-3 十进制数与十六进制数的关系

十进制数	十六进制数	十进制数	十六进制数
10	A	13	D
11	B	14	E
12	C	15	F

综上所述, 可以把进位制的特点概括为:

(1) 每种计数制都有一个固定的基数 J , 它的每一位可能取 J 个不同的数值。

(2) 它是逢“ J ”进位的。因此, 它的每一个数位 i , 对应一个固定的值 J_i , J_i 称为该位的“位权”, 小数点左边各位的位权依次是基数 J 的正次幂; 而小数点右边各位的权依次是基数 J 的负次幂。与此相关, 若小数点向左移一位, 则等于减少了 J 倍; 若小数点向右移一位, 则等于增加了 J 倍。

1.2.2 不同数制之间的转换

计算机中数的存储和运算都使用二进制数。计算机在处理其他进制数时, 都必须转换成二进制数, 处理完毕输出结果时, 再把二进制数转换成常用的数制。下面介绍不同数制间的转换方法。

1. 非十进制数转换成十进制数

方法: 将非十进制数按权展开求和, 就等于对应的十进制数。

(1) 二进制数转换成十进制数, 如:

$$\begin{aligned} (1011.11)B &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 2 + 1 + 0.5 + 0.25 = (11.75)D \end{aligned}$$

(2) 八进制数转换成十进制数, 如:

$$\begin{aligned} (127.24)Q &= 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} \\ &= 64 + 16 + 7 + 0.25 + 0.0625 = (87.3125)D \end{aligned}$$

(3) 十六进制数转换成十进制数, 如:

$$\begin{aligned} (A1F.48)H &= 10 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} \\ &= 2560 + 16 + 15 + 0.25 + 0.03125 = (2591.28125)D \end{aligned}$$

2. 十进制数转换成非十进制数

方法: 整数部分为十进制整数连续除非十进制数的基数取余, 倒排余数, 如图 1-1 所示。

小数部分为十进制小数连续乘非十进制数的基数取整, 正排整数, 如图 1-2 所示。

如: $(75.6875)D = (75)D + (0.6875)D = (?)B$

整数部分:

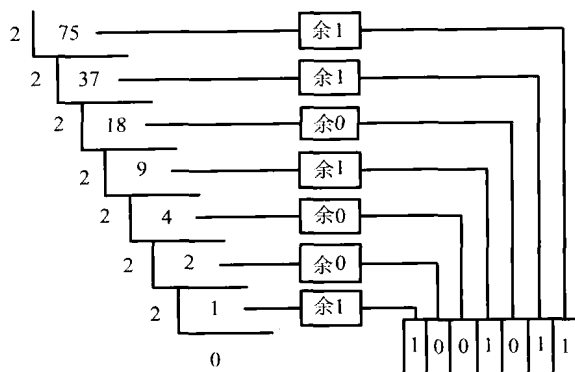


图 1-1 倒排取余

小数部分:

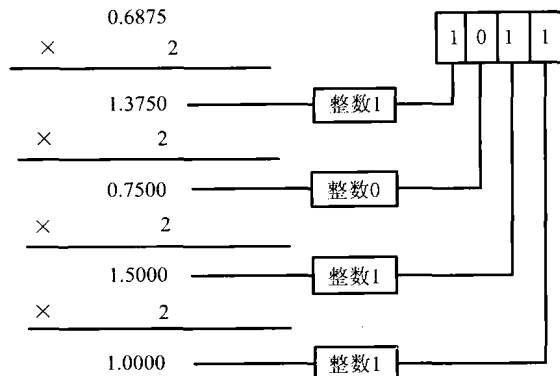


图 1-2 正排整数

即: $(75.6875)_{\text{D}} = (1\ 001\ 011.101\ 1)_{\text{B}}$

十进制数转换成八进制、十六进制数也与此类似。另外介绍一种十进制数转换成二进制的快捷方法:将十进制数直接依次分拆成2的 n 次幂的累加和,这样更加快捷、准确。

例 1.1 将十进制数 75 和 165 转换成二进制数。

$(75)_{\text{D}} = (64 + 8 + 2 + 1)_{\text{D}} = (1000000 + 1000 + 10 + 1)_{\text{B}} = (1001011)_{\text{B}}$

$(165)_{\text{D}} = (128 + 32 + 4 + 1)_{\text{D}} = (10000000 + 100000 + 100 + 1)_{\text{B}} = (10100101)_{\text{B}}$

3. 二进制、八进制、十六进制数之间的转换

(1) 二进制、八进制数之间的转换

表 1-4 八进制数与二进制数对应关系

八进制	二进制	八进制	二进制
0	000	4	100
1	001	5	101
2	010	6	110
3	011	7	111

①二进制数转换成八进制数

方法:整数由低位到高位,每三位(不足三位高位补0)二进制数用一位八进制数表示。

小数由高位到低位,每三位(不足三位低位补0)二进制数用一位八进制数表示。

如: $(1101011.1011)_B = (?)_Q$

$$\begin{array}{cccccc} (001 & 101 & 011 & . & 101 & 100) B \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ (1 & 5 & 3 & . & 5 & 4) Q \end{array}$$

即: $(1101011.1011)_B = (153.54)_Q$

②八进制数转换成二进制数

方法:每一位八进制数用三位二进制数表示。

如: $(613.31)_Q = (?)_B$

$$\begin{array}{cccccc} (6 & 1 & 3 & . & 3 & 1) Q \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ (110 & 001 & 011 & . & 011 & 001) B \end{array}$$

即: $(613.31)_Q = (110001011.011001)_B$

(2)二进制、十六进制数之间的转换

表 1-5 十六进制数与二进制数对应关系

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

①二进制数转换成十六进制数。

方法:整数由低位到高位,每四位(不足四位高位补0)二进制数用一位十六进制数表示。

小数由高位到低位,每四位(不足四位低位补0)二进制数用一位十六进制数表示。

如: $(1\ 101\ 011.110\ 110\ 1)_B = (?)_H$

$$\begin{array}{cccccc} (0110 & 1011 & . & 1101 & 1010) B \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ (6 & B & . & D & A) H \end{array}$$

即: $(1\ 101\ 011.110\ 110\ 1)_B = (6B.DA)_H$

②十六进制数转换成二进制数。

方法:每一位十六进制数用四位二进制数表示。

如: $(3E8.A2)_H = (?)_B$

$$\begin{array}{cccccc} (3 & E & 8 & . & A & 2) H \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ (0011 & 1110 & 1000 & . & 1010 & 0010) B \end{array}$$

即: $(3E8.A2)_H = (1\ 111\ 001\ 000.101\ 000\ 10)_B$