


高职高专“十一五”规划教材·电子信息系列

计算机组成原理 与汇编语言

主编 季怀刚


 清华大学出版社
全国优秀出版社



高职高专“十一五”规划教材·电子信息系列

计算机组成原理 与汇编语言

主 编 李怀刚

 清华大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理与汇编语言/李怀刚主编. —郑州:大象出版社,2007.9

高职高专“十一五”规划教材·电子信息类

ISBN 978-7-5347-4592-8

I. 计… II. 李… III. ①计算机体系结构—高等学校:技术学校—教材②汇编语言—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TP303 TP313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 120846 号

本书编委会名单

主 编 李怀刚
副 主 编 杨 臻 贺学剑
参 编 刘彦华 董 萍

责任编辑 陈洪东

特约编辑 程 浩

责任校对 钟 骄

封面设计 张 帆

出 版 大象出版社(郑州市经七路25号 邮政编码450002)

网 址 www.daxiang.cn

发 行 全国新华书店

制 版 郑州普瑞印刷制版服务有限公司

印 刷 郑州市欣隆印刷有限公司

版 次 2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 15.5

字 数 351千字

印 数 1—3 000册

定 价 22.80元

若发现印、装质量问题,影响阅读,请与承印厂联系调换。

印厂地址 郑州市航海路西端

邮政编码 450064 电话 (0371)68950325 68950126

前言

本书是高职高专计算机类专业系列教材之一,是按照高职高专培养目标进行编写和审定的。

《计算机组成原理与汇编语言》是计算机类专业的主要课程。针对当前计算机专业的发展趋势及高职高专教育的特点、学生的实际知识状况,本教材力求用简明的语言、清晰的概念讲解计算机组成的基本原理及应用。

由于微型计算机技术的飞速发展,硬件技术和软件技术不断地更新,新技术的内容多、难度大,而课程学时数受到一定的限制。因此,本教材主要目的在于使学生掌握计算机组成原理的基础知识。通过本课程的学习,使学生能掌握计算机的基本组成原理、指令系统以及在汇编语言中的应用、总线系统的原理及应用、接口技术、输入输出设备的基本原理及应用,提高学生分析问题、解决问题的能力,能够适应计算机技术飞速发展的需要。《计算机组成原理与汇编语言》是一门知识面广、实践性较强的课程,因此在本书中包含了汇编语言的程序设计方法,建议各学校在使用本教材时,适当增加汇编语言的实验学时。由于各个学校的硬件实验条件不尽相同,因此硬件实验可以根据各个学校的条件来确定。

本书由李怀刚任主编,杨臻、贺学剑任副主编,刘彦华、董萍参加编写。

编者

2007年6月

目 录

1	第 1 章 微型计算机系统概述	
	1.1 微型计算机的发展与应用	(1)
	1.2 微型计算机的系统组成	(4)
	1.3 计算机中的数据表示	(6)
	习题	(13)
14	第 2 章 微处理器	
	2.1 8088/8086 微处理器	(14)
	2.2 8088/8086 的引脚信号	(20)
	2.3 80X86 微处理器	(24)
	2.4 Pentium 处理器	(28)
	2.5 Pentium 处理器中的新技术	(36)
	习题	(39)
40	第 3 章 微型计算机的指令系统	
	3.1 寻址方式	(40)
	3.2 指令系统	(47)
	习题	(70)
72	第 4 章 汇编语言程序设计	
	4.1 汇编语言的语句格式	(72)
	4.2 汇编语言的源程序格式	(73)
	4.3 常量、变量和属性	(79)
	4.4 顺序结构程序设计	(83)
	4.5 分支结构程序设计	(84)
	4.6 循环结构程序设计	(86)
	4.7 子程序设计	(91)
	4.8 宏汇编	(96)
	习题	(99)
101	第 5 章 存储系统	
	5.1 存储器概述	(101)
	5.2 半导体存储器	(103)

	5.3	随机存取存储器	(104)
	5.4	只读存储器	(108)
	5.5	存储器的扩展	(110)
	5.6	虚拟存储管理	(112)
	5.7	高速缓冲存储器 Cache	(116)
		习题	(119)
121	第 6 章	中断控制技术	
	6.1	中断概述	(121)
	6.2	8088/8086 中断系统	(123)
	6.3	中断源识别和中断优先权管理	(127)
	6.4	中断工作过程	(131)
	6.5	内部中断服务程序	(132)
	6.6	8259A 中断控制器	(133)
		习题	(143)
144	第 7 章	输入输出及接口	
	7.1	I/O 接口概述	(144)
	7.2	无条件传送方式及其接口	(156)
	7.3	查询传送方式及其接口	(159)
	7.4	中断传送方式	(164)
	7.5	DMA 控制器	(166)
		习题	(168)
170	第 8 章	总线与接口	
	8.1	总线的基本知识	(170)
	8.2	总线标准	(175)
	8.3	常用外围设备总线与接口	(176)
		习题	(182)
183	第 9 章	定时计数控制接口	
	9.1	8253/8254 定时计数器	(183)
	9.2	8253/8254 在 IBM PC 系列机上的应用	(195)
	9.3	扩充定时计数器的应用	(197)
		习题	(201)
203	第 10 章	数据通信接口	
	10.1	通信基础知识	(203)
	10.2	串行接口标准 RS-232C	(205)
	10.3	并行接口电路 8255A	(209)
		习题	(223)

226 附录

- 附录一 ASCII 码表 (224)
- 附录二 中断向量地址一览表 (225)
- 附录三 DOS 功能调用 (227)
- 附录四 DEBUG 主要命令 (237)

239 参考文献

第 1 章 微型计算机系统概述

本章介绍微型计算机的基本概念、发展、应用以及微型计算机的基本组成,使读者对微型计算机有一个基本的认识,为后续章节的学习打下基础。

1.1 微型计算机的发展与应用

1.1.1 微型计算机的发展

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,从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 电子计算机问世以来,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,是继承电路技术不断发展、芯片集成度不断提高的产物。计算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,尤其以 Intel 公司的 CPU 为主线来介绍微型计算机的发展过程。

第一代:4位及低档8位微处理器。1971年 Intel 公司推出第一片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 作为8位微处理器出现,集成度约2000管/片,时钟频率1MHz。

第二代:中、低档8位微处理器。1973~1974年出现了 Intel 8008、M 6800、Rockwell 6502 等8位微处理器,集成度5000管/片,时钟频率2~4MHz。这一时期,微处理器的设计和生产技术已经相当成熟,组成计算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年出现的 Intel 8085,时钟频率2~4MHz,集成度约10000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 公司首次推出16位处理器8086(时钟频率达到4~8MHz)。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1MB内存单元。1979年 Intel 公司又推出8086的姊妹芯片8088(时钟频率达到48MHz),集成度达到20000~60000管/片。它与8086不同的是外部数据总线为8位(地址总线仍然为20位)。1982年 Intel 公司推出了80286(时钟频率为10MHz),该芯片仍然为16位结构,但地址总线扩展到24位,可访问16MB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 公司又推出了 32 位处理器 80386(时钟频率为 20MHz),该芯片的内、外部数据线及地址总线都是 32 位,可访问 4GB 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 公司又推出了 80486(时钟频率为 30~40MHz),集成度达到 15 万~50 万管/片(168 个脚),甚至上百万管/片,因此被称为超级微型机。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 8kB 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的制造工艺跟不上 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),并且一级缓存的容量增加到了 16kB,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,把一个低主频 CPU 当作高主频 CPU 来使用,这样可以花费较低的代价获得较高的性能。AMD 和 Cyrix 推出了与 Pentium 兼容的处理器 K5 和 6x86。但是,由于这些产品的浮点运算性能不如 Pentium,超频性能也不强,且主频始终跟在 Intel 后面跑,因此只获得了少部分的市场份额。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 256kB 或 512kB 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 的性能又有了质的飞跃。1997 年 Intel 公司初 Intel 公司发布了 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、图像和通信等多媒体应用的能力。其他 CPU 厂商在这段时间也相继推出了多款产品来与 Pentium MMX 竞争,其中最具代表性的要数 AMD 的 K6。K6 也支持 MMX 指令集,拥有一级缓存 64kB,整数运算性能相当优秀,超过了同主频的 Pentium MMX。但 K6 并没有解决浮点运算性能差的问题,在图形、图像、游戏等应用中的表现不尽如人意。1997 年 Intel 公司推出了 Pentium II。Pentium II 是对 Pentium Pro 的改进,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 公司推出了赛扬(Celeron),其特点是去掉了 Pentium II 的二级缓存以及其他可以省略的东西,从而将价格降了下来。1999 年又推出了开发代号为 Coppermine 的 Pentium 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 的弱点而开发的,又针对 3DNow 设计了 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 566MHz 和 600MHz 的赛扬 II(也叫 Coppermine-128kB)。到目前为止,赛扬已经经历了几次更新换代。第一代为没有二级缓存的赛扬 266 和 300,第二代为带 128kB 二级缓存的赛扬 300A、333A……533,中间又将 Slot 1 接口改为了 Socket 370 接口(类似于 Socket 7,有 370 个针脚,与 Socket 7 不兼容),第三代为赛扬 II。

CPU 芯片的发展趋势为基因芯片、光电芯片。



1.1.2 微型计算机的应用

由于微型计算机具有体积小、重量轻、功耗低、功能强、可靠性高、结构灵活、使用环境要求低、价格低廉等一系列特点和优点,因此得到了广泛的应用,如卫星和导弹的发射、石油勘探、天气预报、邮电通信、空中交通管制和航空订票、CAD/CAM、智能仪器、家用电器乃至电子表、儿童玩具等。它已渗透到国民经济的各个部门,几乎无处不在。微型计算机的问世和飞速发展,使计算机真正走出了科学的殿堂,进入到人类社会生产和生活的各个方面。使用人群从过去只限于各部门、各单位少数专业人员到普及广大民众乃至中小学生,成为人们工作和生活不可缺少的工具,从而将人类社会推进到了信息时代。微型计算机的应用范围举不胜举,下而对计算机的主要应用领域作简要介绍。

1. 科学计算

科学计算一直是电子计算机的重要应用领域。世界上第一台电子计算机 ENIAC 就是专为计算高炮弹道而设计的。如今,卫星和导弹的轨道计算,核武器试验,航天飞机发射,天气、地震预测预报,大型桥梁、高层建筑、重型机械等的结构设计,飞机、船舶的外形设计等都需要进行极其复杂和大量的科学计算,它们离不开大型高速计算机。在基础科学研究领域,生物学中的人工胰岛素的合成,物质分子结构的分析等复杂计算也都离不开大型高速计算机。随着微处理器技术的不断发展,性能不断升级,高档微型计算机已具有较强的运算能力,已能满足相当范围的科学计算的需要,特别是微巨型机的发展以及用多个微处理器组成的并行处理机系统,其功能和计算速度已可与大型计算机相匹敌,而成本只有大型机的几分之一,使微型计算机用于科学计算的前景更为广阔。

2. 信息处理和事务管理

计算机应用最广泛的领域之一是信息处理。所谓信息处理,就是利用计算机对科学实验、生产管理、社会与经济活动领域中获得的大量数据进行存储、交换、处理。在当今的信息化社会中,用微型计算机进行信息处理已成为必不可少的手段。将微型机配上适当的应用软件,可以很方便地对各种信息按不同要求进行分类、检索、变换、存储、打印或显示。在计算机联网后还可实现信息传送、资源共享,以提高信息利用率。例如银行的电子化系统可在一个城市甚至全国实现通存通兑,财务管理、人事档案管理、股票期货交易、航空订票系统、军事情报、企业管理系统等都是靠计算机和网络来实现的。随着现代化管理的需要,办公自动化也成为计算机应用的一个重要领域。它除了完成一般的数据信息处理之外,还可进行决策、判断,进行必要的方案论证和规划,以实现现代化的科学管理。计算机加上相应的专用硬件,还可处理图文、声像等多媒体信息。

3. 工业控制/自动控制

利用微型计算机及时检测和收集某一生产活动中某些必需的数据,并按最佳状况进行自动调节和控制,称为实时控制或过程控制。如各种生产线自动控制、石化装置的巡回检测、炉窑温度控制、钢材的轧制控制、卫星和导弹的发射与姿态控制等都必须靠计算机来实现。在工业生产过程中使用了实时计算机控制及自动化生产线,可以实现设备的自动在线检测与控制,剔除不合格产品,以保证产品质量和生产安全,提高生产效益,减轻工人的劳动强度,节省能源。特别是计算机控制的机器人可以代替人在恶劣环境下工作。



4. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

CAD/CAM 是计算机应用的另一重要领域。CAD 是指用计算机来帮助设计者进行各种工程设计、模拟、测试。设计者可以通过 CAD 软件在 CRT 图形显示器上从不同侧面或空间观察自己的设计,通过鼠标或光笔方便地修改自己的设计,直到满意为止。通过模拟来验证自己的设计是否合理,是否达到预期要求。CAD 技术使工程设计走向自动化,提高设计效率,缩短开发周期,降低制造成本。CAD 技术在服装设计、电子、汽车、机械制造行业中已经广泛应用并取得显著成效。CAM 是指利用计算机来控制机械加工、制造,用计算机控制以数控机床为中心的机械加工系统,可以实现加工件的自动运输、组装、加工、测量、检查等功能。目前微型机可完成中、小型的 CAD/CAM 任务,较大的 CAD/CAM 任务一般由工作站(workstation)来完成,CAD/CAM 的最高形式是目前的 CIMS(Computer-Integrated Manufacturing System,计算机集成制造系统)系统。

5. 人工智能(AI)

人工智能(AI,Artificial Intelligence)就是将人脑在进行演绎推理时的思维过程、规则和所采取的策略、技巧等编制成计算机程序,再在计算机中存储一些公理和推理规则,然后让计算机自己去探索解题的方法,也就是使计算机具有人脑的部分思维功能,即计算机通过学习,进行积累知识和自我完善,能够解决那些人们难以解决或至今还不知道如何解决的问题。专家系统、智能机器人、神经网络技术、自动定理证明等是人工智能研究领域的典型应用。专家系统是指用计算机模拟专家的行为,根据输入的原始数据进行推理,作出判断和决策,从而起到专家的作用,如医疗诊断专家系统,利用计算机可以看病。神经网络技术就是模拟人脑的细胞结构和信息传递方式来研制智能计算机。智能机器人是人工智能领域各种研究课题的综合产物,其目标是努力为机器人配置各种智能,如感知能力、推理能力、规划能力和说话能力等,使智能机器人可以主动适应周围环境的变化和通过学习提高工作能力,如代替人从事有害环境中的危险工作等。在这一系列的应用研究中,高性能的微型计算机是其有力工具。

除了上述几方面外,微型计算机应用的另一分支就是邮电通信领域,计算机和通信技术的结合,促进了计算机网络的发展,同时又促进了邮电通信技术的发展。各种跨地域的广域计算机网可以传送电子邮件,如今正在建设中的信息高速公路、各种跨地域的邮电通信网的控制、各种大型交换机控制都离不开计算机,特别是高性能的微型计算机。

1.2 微型计算机的系统组成

微型计算机系统由硬件系统和软件系统组成。计算机硬件是计算机系统中看得见、摸得着的物理装置,计算机软件是程序、数据和相关文档的集合。微型计算机的基本结构如图 1-1 所示。

1.2.1 微型计算机的硬件组成

基本的微型计算机硬件系统由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成。随着器件技术和微电子技术的发展,运算器、控制器等部件已被集成在一起,统称为



中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)。CPU 是硬件系统的核心,是包含有运算器、控制器、寄存器组以及总线接口等部件的一块大规模集成电路芯片,俗称微处理器。用于数据的加工处理,能完成各种算术、逻辑运算及控制功能。

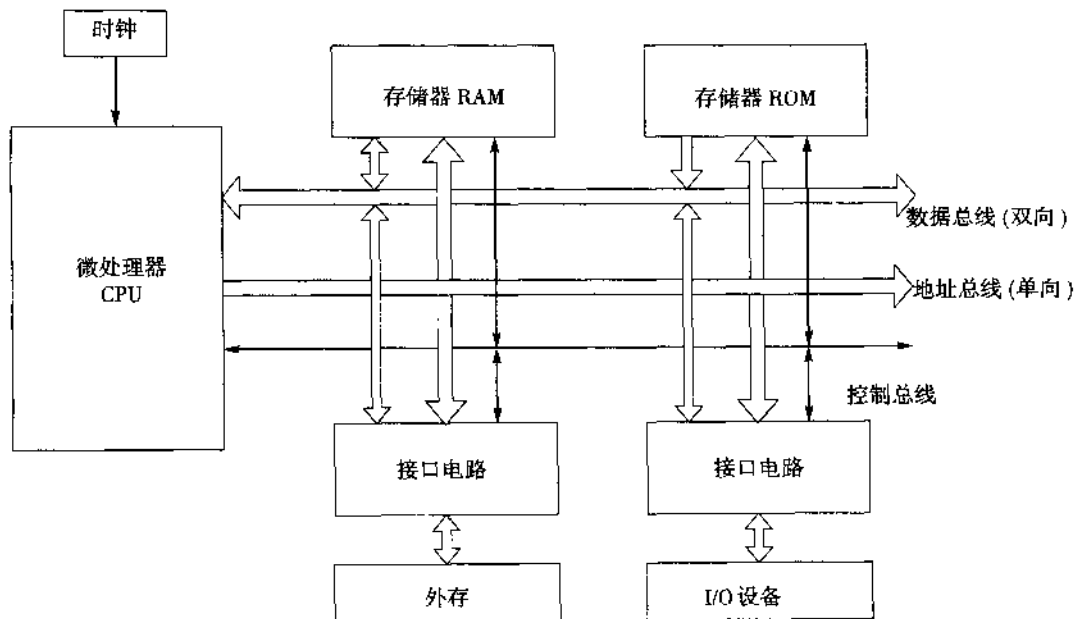


图 1-1 微型计算机的基本结构框图

运算器是对数据进行加工处理的部件,它主要完成算术和逻辑运算。控制器的主要功能是从主存储器中取出指令并进行分析,控制计算机的各个部件有条不紊地完成指令的功能。

存储器是计算机系统记忆设备,分为内部存储器(简称内存或主存)和外部存储器(简称外存)。内存速度快容量小,一般用来临时存放计算机运行时所需要的程序、数据及中间结果。外存容量大速度慢,可用于长期保存信息。寄存器是 CPU 中的记忆设备,用来临时存放指令、数据及运算结果。与内存储器相比,寄存器的速度要快得多。

习惯上将 CPU 和主存储器的有机组合称为主机。输入/输出设备(或 I/O 设备)位于主机之外,是计算机系统与外界交换信息的装置。所谓输入和输出都是相对于主机而言的。输入设备的作用是把输入的各种信息转换成二进制形式输入到计算机的存储器中,输出设备的作用是把运算结果按照人们所要求的形式输出到外部设备上。

1.2.2 计算机软件的组成

计算机软件是指为管理、运行、维护及应用计算机所开发的程序及相关文档的集合。如果计算机系统中仅有硬件系统,则它只具备了计算的功能,并不能真正运算,只有将解决问题的步骤编成程序并输入到计算机内进行运行,才能完成运算。软件系统是计算机系统的重要组成部分,通常可将软件分为系统软件和应用软件两大类。



1.3 计算机中的数据表示

1.3.1 计算机中的数

计算机最主要的功能是处理数值、文字、声音、图形和图像等信息。在计算机内部,各种信息都必须经过数字编码后才能被传送、存储和处理,所以掌握信息编码的概念与处理技术至关重要。所谓编码,就是采用少量的基本符号,选用一定的组合原则,以表示大量复杂多样的信息。基本符号的种类和这些符号的组合规则是一切信息编码的两大要素。例如,用10个阿拉伯数字表示数字,用26个英文字母表示英文词汇等,都是编码的例子。

在采用进位记数的数字系统中,如果只有 r 个基本符号表示数值,则称其为 r 进制, r 成为该数制的基数。

对于任何一种数制表示的数,我们都可以写成按位权展开的多项式之和,其一般形式为:

$$N = d_{n-1}b^{n-1} + d_{n-2}b^{n-2} + d_{n-3}b^{n-3} + \dots + d_{-m}b^{-m}$$

式中 n ——整数的总位数;

m ——小数的总位数;

d 的下标——表示该位的数码;

b ——表示进位制的基数;

b 的上标——表示该位的位权。

为了区分各种计数制的数据,经常采用以下两种方法进行书写表达。

(1)在数字后面加写相应的英文字母作为标志。如:

B(Binary)表示二进制数;

O(Octonary)表示八进制数;

D(Decimal)表示十进制数,通常其后缀可以省略;

H(Hexadecimal)表示十六进制数。

(2)在括号外面加数字下标,此种方法比较直观。如:

二进制的11010011可以写成 $(11010011)_2$ 。

表1-1给出了计算机中不同计数制的基数、数码、进位关系和表示方法。

表1-1 计算机中不同计数制的基数、数码、进位关系和表示方法

计数制	基数	数码	进位关系	表示方法
二进制	2	0,1	逢二进一	1010B 或 $(1010)_2$
八进制	8	0,1,2,3,4,5,6,7	逢八进一	247O 或 $(247)_8$
十进制	10	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9	逢十进一	598D 或 $(598)_{10}$
十六进制	16	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9, A,B,C,D,E,F	逢十六进一	7C2FH 或 $(7C2F)_{16}$

在十进制计数法中, $r=10$,基本符号为0,1,2,...,9。无论多大的数,都使用这些10个



符号的组合来表示,故称为十进制计数法。

在二进制计数法中, $r=2$,基本符号为 0 和 1。二进制数中的一个 0 或 1 称为 1 比特 (bit)。

二进制数转换成十进制的方法是:将二进制数的每一位乘以它的权,然后相加,即可求得对应的十进制数值。

例 1-1 将二进制数 $(1011001.101)_2$ 转换为十进制数。

采用按位权展开求和的方法,过程如下:

$$\begin{aligned}(1011001.101)_2 &= 1 \times 2^6 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 64 + 16 + 8 + 1 + 0.5 + 0.125 \\ &= (89.625)_{10}\end{aligned}$$

将十进制数转换成二进制时,整数部分和小数部分分别转换,然后再合起来。十进制整数转换为二进制整数的方法是“除 2 取余”;十进制小数转换为二进制小数的方法是“乘 2 取整”。

十进制数转换成二进制数还有一个简便的方法:把一个十进制数写成按二进制数权的大小展开的多项式,按权值从高到低依次取各项的系数就可得到相应的二进制数。

例 1-2 将十进制整数 $(103)_{10}$ 转换为二进制整数。

按照转换规律,采用“除 2 取余”的方法,过程如下:

$2 \overline{) 103}$	1	余数为 1
$2 \overline{) 51}$	1	余数为 1
$2 \overline{) 25}$	1	余数为 1
$2 \overline{) 12}$	0	余数为 0
$2 \overline{) 6}$	0	余数为 0
$2 \overline{) 3}$	1	余数为 1
$2 \overline{) 1}$	1	余数为 1
0		

所以, $(103)_{10} = (1100111)_2$

例 1-3 将十进制小数 $(0.8125)_{10}$ 转换为二进制小数。

按照转换规律,采用“乘 2 取整”的方法,过程如下:

$0.8125 \times 2 = 1.625$	1	取整数位 1
$0.625 \times 2 = 1.25$	1	取整数位 1
$0.25 \times 2 = 0.5$	0	取整数位 0
$0.5 \times 2 = 1.0$	1	取整数位 1

所以, $(0.8125)_{10} = (0.1101)_2$

若出现乘积的小数部分一直不为“0”,则可以根据计算精度的要求截取一定的位数即可。

在八进制计数法中, $r=8$,基本符号为 0,1,2,⋯,7。

十进制数转换为八进制数的方法是:用十进制整数“除 8 取余”的方法转换为八进制整



数,对于十进制小数则采用“乘8取整”的方法转换为八进制小数。

二进制数转换成八进制数的方法是:从小数点起,把二进制数每3位分成一组,然后写出每一组的等值八进制数,顺序排列起来就得到所要求的八进制数。二进制与八进制、十六进制之间的对应关系如表1-2所示。

表1-2 二进制与八进制、十六进制之间的对应关系

二进制	八进制	二进制	十六进制	二进制	十六进制
000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

例1-4 把二进制数10111010001.10101转换为相应的八进制数。

$$(10\ 111\ 010\ 001.\ 101\ 010)_2 = (2721.52)_8$$

例1-5 将十进制整数(1685)₁₀转换为八进制整数。

按照转换规律,采用“除8取余”的方法,过程如下:

$$\begin{array}{rll} 8 \overline{) 1685} & 5 & \text{余数为 } 5 \\ 8 \overline{) 210} & 2 & \text{余数为 } 2 \\ 8 \overline{) 26} & 2 & \text{余数为 } 2 \\ 8 \overline{) 3} & 3 & \text{余数为 } 3 \\ & 0 & \end{array}$$

所以, $(1685)_{10} = (3225)_8$

例1-6 将八进制数(1476.32)₈转换为十进制数,过程如下:

$$\begin{aligned} (1476.32)_8 &= 1 \times 8^3 + 4 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} \\ &= 512 + 256 + 56 + 6 + 0.375 + 0.03125 \\ &= (830.40625)_{10} \end{aligned}$$

在十六进制数计数法中,r=16,基本符号:0,1,2,...,9,A,B,...,F。

十进制数转换为十六进制数的方法是:十进制数的整数部分“除十六取余”,十进制数的小数部分“乘十六取整”进行转换。

例1-7 将十进制整数(2347)₁₀转换为十六进制整数。

按照转换规律,采用“除16取余”的方法,过程如下:

$$\begin{array}{rll} 16 \overline{) 2347} & B & \text{余数为 } 11(\text{十六进制数为 } B) \\ 16 \overline{) 146} & 2 & \text{余数为 } 2 \\ 16 \overline{) 9} & 9 & \text{余数为 } 9 \\ & 0 & \end{array}$$

所以, $(2347)_{10} = (92B)_{16}$



例 1-8 将十进制小数 $(0.8129)_{10}$ 转换为十六进制小数。

按照转换规律,采用“乘 16 取整”的方法,过程如下:

$0.8129 \times 16 = 13.0064$	D	取整数位 13(十六进制数为 D)
$0.0064 \times 16 = 0.1024$	0	取整数位 0
$0.1024 \times 16 = 1.6384$	1	取整数位 1
$0.6384 \times 16 = 10.2144$	A	取整数位 10(十六进制数为 A)

取数据的计算精度为小数点后 4 位数。

所以, $(0.8129)_{10} = (0.D01A)_{16}$

例 1-9 把二进制数 010111100001.1010111 转换为相应的十六进制数。

$(0101\ 1110\ 0001.\ 1010\ 1110)_2 = (5E1.AE)_{16}$

例 1-10 将十六进制数 $(2D7.A)_{16}$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} (2D7.A)_{16} &= 2 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} \\ &= 512 + 208 + 7 + 0.625 \\ &= (727.625)_{10} \end{aligned}$$

由于一位十六进制数可以用 4 位二进制数来表示,故二进制数与十六进制的相互转换比较容易。二进制数转换成十六进制数的方法是从小数点开始,每 4 位二进制数为一组,将每一组用相应的十六进制数数符来表示,即可得到正确的十六进制数。

1.3.2 计算机中的码

各种数据在计算机中表示的形式称为机器数,其特点是采用二进制记数制,数的符号用 0 和 1 表示,小数点则隐含表示而不占位置。机器数对应的实际数值称为数的真值。

机器数有无符号数和带符号数之分。无符号数表示正数,在机器数中没有符号位。对于无符号数,若约定小数点的位置在机器数的最低位之后,则是纯整数;若约定小数点的位置在机器数的最高位之前,则是纯小数。对于带符号数,机器数的最高位是表示正、负的符号位,其余位则表示数值。若约定小数点的位置在机器数的最低数值位之后,则是纯整数;若约定小数点的位置在机器数的最高数值位之前(符号位之后),则是纯小数。

为了便于计算,带符号的机器数可采用原码、反码和补码等不同的编码方法,机器数的这些编码方法称为码制。

1. 机器数的表示法

(1)原码表示法。数值 X 的原码记为 $[X]_{原}$,如果机器字长为 n(即采用 n 个二进制位表示数据),则最高位是符号位,0 表示正号,1 表示负号,其余的 n-1 位表示数值的绝对值。数值零的原码表示有两种形式: $[+0]_{原} = 00000000$, $[-0]_{原} = 10000000$ 。

例如,若机器字长 n 等于 8,则:

$$\begin{aligned} [+0]_{原} &= 00000000 & [-0]_{原} &= 10000000 \\ [+1]_{原} &= 00000001 & [-1]_{原} &= 10000001 \\ [+105]_{原} &= 01101001 & [-105]_{原} &= 11101001 \\ [+127]_{原} &= 01111111 & [-127]_{原} &= 11111111 \end{aligned}$$

(2)反码表示法。正数的反码与其原码相同;负数的反码将其原码的数值部分依次按



位取反,符号位仍为“1”;对于“0”的反码则有正负之分。

$$[+0]_{\text{反}} = 00000000, [-0]_{\text{反}} = 11111111$$

$$[+4]_{\text{反}} = 10000100, [-4]_{\text{反}} = 11111011$$

(3) 补码表示法。正数的补码与其原码相同;负数的补码为其反码加 1。

$$(X)_{\text{补}} = 2^n + X$$

n 位二进制数补码的表示范围为 $-2^{n-1} \sim +(2^{n-1} - 1)$ 。

补码和真值的关系如下:

$$\text{例如:} [-4]_{\text{原}} = 10000100, [-4]_{\text{补}} = 11111100$$

补码运算时可以将符号位参与运算,用加法代替减法运算,提高了运算速度。计算机中的有符号二进制数据默认为补码表示。

2. 补码的求法

正数补码等于其原码。以下针对负数求补。

(1) 根据定义求。

$$(X)_{\text{补}} = 2^n + X$$

如 $X = -1010111$, $n = 8$, 则 $(X)_{\text{补}} = 2^8 + (-1010111) = 10000000 - 1010111 = 10101001$, 有减法运算不方便。

(2) 利用原码求。一个负数的补码等于其原码除符号位以外的各位按位取反,再在最低位加 1。

$$\text{如 } X = -1010111, (X)_{\text{原}} = 11010111, \text{则 } (X)_{\text{补}} = 10101000 + 1 = 10101001$$

(3) 简便的求补。从原码的最低位起,到出现第一个 1 以前(包括第一个 1)的数字不变,以后逐位取反,但符号位不变。

$$\text{如 } X = -1010111, (X)_{\text{原}} = 11010111, \text{则 } (X)_{\text{补}} = 10101001$$

$$X = -1110000, (X)_{\text{原}} = 11110000, \text{则 } (X)_{\text{补}} = 10010000$$

3. 十进制数与字符的编码表示

数值、文字和英文字母都被认为是字符,任何字符进入计算机时,都必须转换成二进制数形式表示,称为字符编码。

用 4 位二进制代码表示 1 位十进制数,称为二—十进制编码,简称 BCD 编码。因为 $2^4 = 16$,而十进制数只有 0~9 十个不同的字符,故有多种 BCD 编码。根据 4 位代码中每一位是否有确定的权来划分,可分为有权码和无权码两类。

应用最多是 8421 码,即 4 个二进制位的权从高到低分别为 8,4,2 和 1。无权码中用的较多的是余 3 码和格雷码。余 3 码是在 8421 码的基础上,把每个数的代码加上 0011 后构成。格雷码的编码规则则是相邻的两个代码之间只有位不同。常用的 8421BCD 码、余 3 码、格雷码与十进制数的对应关系如表 1-3 所示。

ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange,美国信息交换标准码)用 8 位二进制代码表示一个字符,其中低 7 位是字符的 ASCII 值,最高位为校验位。常用于输入输出设备上。7 位 ASCII 码可表示 127 个字符。最高位由奇偶校验的类型决定,偶校验指包括校验位在内 1 的个数为偶数,奇校验指包括校验位在内 1 的个数为奇数。美国信息交换标准码见附录一。