

高等学校应用型特色规划教材

计算机 硬件技术基础

陈 科 姚成秀 郑红梅 朱 萍 主编

*JISUANJI
YINGJIAN JISHU JICHU*

安徽大学出版社



计算机硬件技术基础

主 编 陈 科 姚成秀 郑红梅 朱 萍

编写人员 陈 科 姚成秀 郑红梅 朱 萍

张春诚 冯 元 赵亚飞 吴 军

安徽大学出版社

内 容 简 介

本书采用理论与实际相结合的方法,便于读者系统地学习计算机硬件知识,能在较短的时间内掌握相关知识。全书共分为6章,分别为:微型计算机基础知识,微型计算机,汇编语言程序设计,微型计算机芯片与接口,微型计算机常用外部设备及其选购、安装与维护,最新硬件技术简介。

本书可作为高等院校非计算机专业计算机硬件技术基础课程的教材,还可供参加全国计算机等级考试的人员作为参考资料,也可作为相关单位的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础/陈科等编著. —合肥:安徽大学出版社,2009.1

ISBN 978—7—81110—531—5

I. 计… II. 陈… III. 硬件 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 211258 号

计算机硬件技术基础

陈 科 姚成秀 郑红梅 朱 萍 主 编

出版发行 安徽大学出版社

(合肥市肥西路3号 邮编 230039)

联系电话 发行部 0551—5108397 5107716

网 址 www.ahupress.com.cn

责任编辑 李镜平

特约编辑 罗 雁 罗季重

封面设计 孟献辉

经 销 新华书店

印 刷 合肥创新印务有限公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 17.75

字 数 432 千

版 次 2009 年 1 月第 1 版

印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978—7—81110—531—5

定价 28.00 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前言

计算机硬件技术基础是大学计算机公共课中的一门重要课程。为了普及计算机硬件知识,作者根据从事计算机硬件技术基础教学的经验编写了本教材。在编写过程中,力求概述清楚,突出重点,讲清难点,循序渐进,既注重实用性,又兼顾先进性。

本书侧重阐述了在计算机应用过程中的硬件相关技术,同时介绍了当前最新的硬件新技术,采用理论与实际相结合的方法,便于读者对计算机硬件知识进行系统学习,使读者能在较短的时间内迅速掌握相关知识,起到事半功倍的作用。本书内容丰富,实例较多,每章均配有一定量的习题,便于读者复习巩固。全书共分为6章,分别为:微型计算机基础知识,微型计算机,汇编语言程序设计,微型计算机芯片与接口,微型计算机常用外部设备及其选购、安装与维护,最新硬件技术简介。

本书由陈科、姚成秀、郑红梅、朱萍主编,编写人员有陈科、姚成秀、郑红梅、朱萍、张春诚、冯元、赵亚飞、吴军。全书由陈科整理统稿。

本书可作为高等院校非计算机专业计算机硬件技术基础课程的教材,还可供参加全国计算机等级考试的人员作为参考资料,也可作为有关单位的培训教材。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2009年1月9日

目 录

第 1 章 微型计算机基础知识	1
1.1 微型计算机的发展	2
1.1.1 计算机的发展	2
1.1.2 微型计算机的发展	2
1.2 微型计算机的分类和应用	4
1.2.1 微型计算机的分类	4
1.2.2 微型计算机的应用	4
1.3 微型计算机中数的表示与运算	5
1.3.1 计算机中数的表示	5
1.3.2 计算机中的编码	12
1.4 小 结	15
习题 1	15
第 2 章 微型计算机	16
2.1 微型计算机的系统组成	16
2.2 微处理器	17
2.2.1 微处理器概述	17
2.2.2 8086/8088 CPU	18
2.2.3 80X86 及 Pentium 微处理器	27
2.3 内存储器	29
2.3.1 概 述	29

2.3.2 CPU 与内存的连接.....	34
2.3.3 高速缓存(Cache)原理	40
2.3.4 虚拟存储器工作原理	43
2.4 输入/输出接口及其中断处理	45
2.4.1 I/O 接口概述	45
2.4.2 I/O 端口的编址方式	46
2.4.3 CPU 与外设间的数据传送方式	47
2.4.4 中断技术简介	49
2.5 总线	51
2.5.1 总线的基本概念	51
2.5.2 总线的结构	52
2.5.3 总线的标准	53
2.6 小结	57
习题 2	57

第 3 章 汇编语言程序设计

58

3.1 8086 的寻址方式	58
3.1.1 基本概念	58
3.1.2 指令的基本格式	59
3.1.3 8086 CPU 的寻址方式	59
3.2 8086CPU 指令系统	63
3.2.1 数据传送类指令	63
3.2.2 算术运算类指令	69
3.2.3 逻辑运算与移位指令	76
3.2.4 控制转移类指令	80
3.2.5 字符串操作指令	86
3.2.6 处理器控制指令	90
3.3 汇编语言程序格式	91
3.3.1 汇编语言源程序的组成	92
3.3.2 汇编语言的运算符	96
3.4 汇编语言伪指令	99
3.4.1 段定义、分配伪指令	99

3.4.2	变量定义及存储器申请伪指令	101
3.4.3	位置计数器 \$ 和定位伪指令 ORG	103
3.4.4	过程定义伪指令 PROC/ENDP	103
3.4.5	符号定义伪指令 EQU、LABEL	104
3.4.6	记录与结构定义伪指令 RECORD、STRUC/ENDS	104
3.4.7	程序模块定义伪指令 NAME/END、PUBLIC/EXTRN	107
3.5	DOS 系统功能调用与 BIOS 中断	107
3.5.1	DOS 系统功能调用	108
3.5.2	常用 BIOS 中断调用	114
3.6	汇编语言程序的上机过程及调试	117
3.6.1	汇编语言程序的软件环境及上机过程	117
3.6.2	源程序的编辑与汇编	118
3.6.3	目标程序的连接与运行	119
3.6.4	程序的调试	119
3.7	汇编语言程序基本结构与设计	121
3.7.1	汇编语言程序的设计步骤	121
3.7.2	顺序程序设计	122
3.7.3	分支程序设计	126
3.7.4	循环程序设计	130
3.7.5	子程序设计	137
3.8	宏汇编和条件汇编	140
3.8.1	宏汇编	140
3.8.2	条件汇编	141
3.9	80X86 新增指令编程	143
3.10	小 结	146
习题 3		146

第 4 章 微型计算机芯片与接口

151

4.1	通用可编程并行接口芯片 Intel8255A	151
4.1.1	8255A 并行接口逻辑框图及功能部件说明	151
4.1.2	8255A 引脚信号定义	152

4.1.3	8255A 并行接口的控制字	153
4.1.4	8255A 并行接口的 3 种工作模式	154
4.1.5	8255A 编程应用举例	156
4.2	8253 计数器/定时器结构与编程	158
4.2.1	8253 功能及结构框图	158
4.2.2	8253 工作方式与工作时序	161
4.2.3	8253 初始化编程	164
4.2.4	8253 编程应用举例	164
4.3	串行通信接口 8251A 的接口与编程	165
4.3.1	串行通信的基本概念与术语	165
4.3.2	8251A 结构框图及功能部件说明	167
4.3.3	8251A 引脚信号定义	168
4.3.4	8251A 编程地址的实现	169
4.3.5	8251A 的方式字、命令字设定	171
4.3.6	8251A 编程应用举例	172
4.4	可编程中断控制器 8259A	174
4.4.1	引脚与内部结构	174
4.4.2	使用说明	176
4.4.3	8259A 的编程	178
4.5	小 结	180
习题 4		181

第 5 章 微型计算机常用外部设备及其选购、安装与维护 182

5.1	微型计算机常用外部设备	182
5.1.1	键 盘	182
5.1.2	鼠 标	183
5.1.3	扫描仪	185
5.1.4	显示器	186
5.1.5	打印机	187
5.1.6	绘图仪	189
5.1.7	外存储器	189

5.2 微型计算机的选购	192
5.2.1 个人计算机的选购	192
5.2.2 笔记本电脑选购指南	193
5.3 微型计算机参数设置	195
5.3.1 AWARD BIOS 设置详解	195
5.3.2 BIOS 与 CMOS 区别	202
5.4 微型计算机的安装	203
5.4.1 安装电源	204
5.4.2 安装主板	205
5.4.3 安装 CPU	208
5.4.4 内存条的安装	210
5.4.5 安装光盘驱动器	211
5.4.6 安装软驱	211
5.4.7 安装硬盘	212
5.4.8 安装显卡	213
5.4.9 机箱内部连线	214
5.4.10 连接机箱内部的信号线	215
5.4.11 整理内部连线和合上机箱盖	217
5.4.12 连接外设	217
5.5 微型计算机的维护	219
5.5.1 微型计算机维修的基本原则和方法	219
5.5.2 硬件清洁和系统清理	223
5.5.3 典型 BIOS 错误信息	227
5.5.4 主要部件典型故障	228
5.6 小 结	235
习题 5	236

第 6 章 最新硬件技术简介

237

6.1 微处理器新技术	237
6.1.1 多核微处理器技术简介	238
6.1.2 Intel 与 AMD 多核处理器剖析	239

6.1.3 双核心处理器的适用范围	240
6.1.4 多核心处理器目前存在的问题	241
6.2 内存存储器新技术	241
6.2.1 DDR2 的概念	241
6.2.2 DDR2 与 DDR 的区别	242
6.2.3 DDR2 采用的新技术	243
6.3 硬盘新技术	244
6.3.1 SSD 类别	244
6.3.2 SSD 的过人之处	244
6.3.3 SSD 当前的困境	245
6.4 总线及接口新技术	245
6.4.1 PCI-E 总线技术	245
6.4.2 USB3.0 接口技术	248
6.5 小 结	251
习题 6	251

附 录	252
-----	-----

附录 1 ASCII 码表	252
附录 2 DEBUG 主要命令	253
附录 3 8086/8088 指令简表	256
附录 4 常用 DOS 功能调用 (INT 21H)	264
附录 5 常用 ROM-BIOS 功能调用	269

主要参考文献	273
--------	-----

第 1 章 微型计算机基础知识

电子计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一。它是一种能够自动、高速、精确地对数字信息进行加工、处理、存储与传送的电子设备。人们通常按照计算机的体积、简易性、性能指标、存储容量、指令系统规模、价格和应用范围等条件,将计算机分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机等;它们的结构规模和性能指标依次递减。计算机的分类如图 1.1 所示。

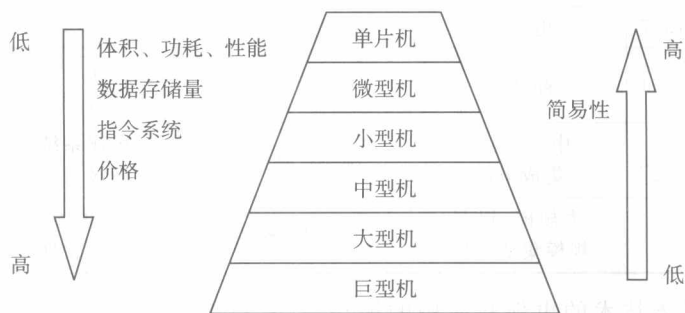


图 1.1 计算机的分类

这种划分并没有一个一成不变的严格标准,尤其是随着超大规模集成电路(VLSI)的迅速发展,芯片集成度不断提高,器件价格不断下降,使得过去只有在大、中、小型机中采用的技术(诸如流水线技术、高速缓冲存储器技术、虚拟存储器管理技术、多处理机并行处理技术及精简指令集系统 RISC 等)已经用于微型机系统中。今天的大型机可能是明天的小型机,而今天的小型机可能是明天的微型机。

从系统结构和基本工作原理上说,微型计算机与大、中、小型计算机并没有本质上的区别。其主要不同点是:从结构上看,微型计算机的中央处理器(Central Processing Unit, CPU)是集成在一小块硅片上的,而大、中型计算机的 CPU 一般由相当多的电路或集成电路组成。因此,为了区别于大、中、小型计算机的 CPU,一般称微型计算机的中央处理器为微处理器(Microprocessing Unit, MPU 或 Microprocessor)。从用途上看,大、中、小型计算机主要是用于复杂的科学计算;而微型机主要是面向控制对象或者个人计算机,其功能和性能虽然没有大、中、小型机强大,但具有结构简单灵活、可靠性高、体积小、重量轻、价格低及应用面广等特点。

本章主要介绍微型计算机的基础知识,包括微型计算机的发展、分类和应用,以及微型计算机中信息的表示与运算。



1.1 微型计算机的发展

1.1.1 计算机的发展

自从 1946 年世界上第一台计算机 ENIAC 问世以来,在短短 50 多年的时间里,计算机的发展已经历了四代。目前,各国正在加紧研制、开发第五代计算机。

计算机的发展,从一开始就和电子技术,特别是半导体微电子技术和通信技术紧密相关。按照构成计算机所采用的电子器件及其电路的不同,把计算机划分为若干“代”,用“代”来标志计算机的发展,这已成为一种常识。

根据电子计算机所采用的物理器件,一般将电子计算机的发展分成四个阶段,也称为四代。表 1.1 是电子计算机发展简表。

表 1.1 电子计算机发展简表

发展阶段	时 间	物理器件	主存储器	软 件	应用范围
第一代	1946—1957	电子管	磁芯、磁鼓	汇编语言	科学计算
第二代	1958—1964	晶体管	磁芯、磁带	程序设计 语言管理程序	科学计算 数据处理
第三代	1965—1970	中、小规模 集成电路	磁芯、磁盘	操作系统 高级语言	逐步广泛应用
第四代	1971—	大规模、超大 规模集成电路	半导体、磁盘	数据库 网络软件	普及到社会 生活各方面

50 多年来,随着技术的更新和应用的推动,计算机有了飞速的发展。今天,集文字处理、图形、图像、声音、动画为一体的多媒体计算机方兴未艾,计算机也进入到了以计算机网络为特征的时代。

1.1.2 微型计算机的发展

20 世纪 70 年代,一方面,由于军事工业、空间技术、电子技术和工业自动化技术的迅速发展,日益要求生产体积小、可靠性高和功耗低的计算机,这种社会的直接需要是促进微处理器和微型计算机产生和发展的强大动力;另一方面,由于大规模集成电路技术和计算机技术的飞速发展,1970 年已经可以生产 1 kB 的存储器和通用异步收发器(UART)等大规模集成电路产品;并且计算机的设计日益完善,总线结构、模块结构、堆栈结构、微处理器结构、有效的中断系统及灵活的寻址方式等功能越来越强,这为研制微处理器和微型计算机打下了坚实的物质基础和技术基础。因而,自从 1971 年微处理器和微型计算机问世以来,它就得到了异乎寻常的发展,大约每隔 2~4 年就更新换代一次。至今,经历了三代演变,进入第四代。微型计算机的换代,通常是按其 CPU 字长和功能来划分的。

1. 第一代(1971—1973):4 位或低档 8 位微处理器和微型机

代表产品是美国 Intel 公司推出的 4004 微处理器以及由它组成的 MCS-4 微型机(集成度为 1 200 晶体管/片)。随后又制成 8008 微处理器及由它组成的 MCS-8 微型机。第一代微型机就采用了 PMOS 工艺,基本指令时间约为 10~20 μ s,字长 4 位或 8 位,指令系

统比较简单,运算功能较差,速度较慢,系统结构仍然停留在台式计算机的水平上,软件主要采用机器语言或简单的汇编语言,其价格低廉。

2. 第二代(1974—1978):中档的8位微处理器和微型机

其间又分为两个阶段。1974—1975年为典型的第二代,以美国 Intel 公司的 8080 和 Motorola 公司的 MC6800 为代表,集成度提高 1~2 倍(Intel 8080 集成度为 4 900 管/片),运算速度提高了一个数量级。1976—1978 年为高档的 8 位微型机和 8 位单片微型机阶段,称之为二代半。高档 8 位微处理器,以美国 ZILOG 公司的 Z80 和 Intel 公司的 8085 为代表,集成度和速度都比典型的第二代提高了一倍以上(Intel 8085 集成度为 9 000 管/片)。8 位单片微型机以 Intel 8048/8748(集成度为 9 000 管/片)、MC6801、MOSTEK F81/3870、Z80 等为代表,它们主要用于控制和智能仪器。总的来说,第二代微型机的特点是采用 NMOS 工艺,集成度提高 1~4 倍,运算速度提高 10~15 倍,基本指令执行时间约为 1~2 μs ,指令系统比较完善,已具有典型的计算机系统结构以及中断、DMA 等控制功能,寻址能力也有所增强;软件除采用汇编语言外,还配有 BASIC、FORTRAN、PL/M 等高级语言及其相应的解释程序和编译程序,并在后期开始配上操作系统。

3. 第三代(1978—1981):16位微处理器和微型机

代表产品是 Intel 8086(集成度为 29 000 管/片),Z8000(集成度为 17 500 管/片)和 MC68000(集成度为 68 000 管/片)。这些 CPU 的特点是采用 HMOS 工艺,基本指令时间约为 0.05 μs ,从各个性能指标评价,都比第二代微型机提高了一个数量级,已经达到或超过中、低挡小型机(如 PDP11/45)的水平。这类 16 位微型机通常都具有丰富的指令系统,采用多级中断系统、多重寻址方式、多种数据处理形式、段式寄存器结构、乘除运算硬件,电路功能大为增强,并都配备了强有力的系统软件。

4. 第四代(1985—1999):32位高档微型机

随着科学技术的突飞猛进,计算机的应用日益广泛,现代社会对计算机的依赖已经越来越明显。原来的 8 位、16 位机已经不能满足广大用户的需要,因此,1985 年以后,Intel 公司在原来的基础上又发展了 80386 和 80486。其中,80386 的工作主频达到 25 MHz,有 32 位数据线和 24 位地址线。以 80386 为 CPU 的 COMPAQ 386、AST 386、IBM PS2/80 等机种相继诞生。同时随着内存芯片的发展和硬盘技术的提高,出现了配置 16 MB 内存和 1 000 MB 外存的微型机,微型机已经成为超小型机,可执行多任务、多用户作业。由微型机组成的网络、工作站相继出现,从而扩大了用户的应用范围。1989 年,Intel 公司在 80386 的基础上,又研制出了 80486。它是在 80386 的芯片内部增加了一个 8 kB 的高速缓冲内存和 80386 的协处理器芯片 80387 而形成了新一代 CPU。1993 年 3 月 22 日,Intel 公司发布了它的新一代处理器 Pentium(奔腾)。它采用 0.8 μm 的 BicMOS 技术,集成了 310 万个晶体管,工作电压也从 5 V 降到 3 V。随着 Pentium 新型号的推出,CPU 晶体管的数目增加到 500 万个以上,工作主频率从 66 MHz 增加到 333 MHz。1998 年 3 月,Intel 公司在 CeBIT 贸易博览会展出了一种速度高达 702 MHz 的奔腾 II 芯片。1999 年,以奔腾 II450、奔腾 III450 为微处理器,内存 128 MB,硬盘 8.4 GB 的微型机在我国上市。

5. 第五代(2000 年以后):64位微处理器和微型机

随着因特网和电子商务的发展,人们对服务器的性能提出了更高的要求,32 位的微处理器已经不能适应这一要求。2000 年 Intel 推出 64 位微处理器 Itanium(安腾),它采用由

Intel 和 HP 公司联合定义的全新指令架构显示并行指令计算。但 64 位微处理器主要还是面向服务器和 workstation 等高端应用,其应用程序较少,离台式应用还有一定距离。

当前微处理器与微型计算机正朝着以下几个方向发展:

- (1) 发展高性能的 64 位微处理器。
- (2) 发展专用化的单片微型计算机。
- (3) 发展带有软件固化的微型计算机。
- (4) 发展多微处理机系统和局域网。
- (5) 充实和发展外围接口电路。

微型机由于结构简单、通用性强、价格便宜,已成为现代计算机领域中一个极为重要的分支,并正以飞快的速度向前发展。

1.2 微型计算机的分类和应用

1.2.1 微型计算机的分类

微型计算机的分类方法很多,可以从不同的角度对微型计算机进行分类。

- (1) 按微处理器的字长,可分为 4 位、8 位、16 位、32 位、64 位微型计算机。
- (2) 按微型计算机的组装形式,可分为单片、单板、多板微型计算机等。
- (3) 按微处理器的制造工艺,可分为 MOS 型器件和双极型器件微型计算机。

1.2.2 微型计算机的应用

微型计算机的应用十分广泛,目前已渗透到人类活动的各个领域:国防、科技、工业、农业、商业、交通运输、文化教育,等等,政府部门以及各行各业都在广泛地应用微型计算机解决各种实际问题。归纳起来,目前微型计算机主要应用在以下几个方面。

1. 科学计算

科学研究、工程技术的计算是微型计算机应用的一个基本方面,也是计算机最早应用的领域。科学计算所解决的大都是一些十分复杂的数学问题。数值计算的特点是计算公式复杂,计算量大和数值变化范围大,原始数据相应较少。这类问题只有具有高速运算和信息存储能力,以及高精度的计算机系统才能完成。例如数学、物理、化学、天文学、地理学、生物学等基础科学的研究以及航天飞船、飞机设计、船舶设计、建筑设计、水力发电、天气预报、地质探矿等方面的大量计算都可以使用微型计算机来完成。

2. 数据处理(信息处理)

数据处理是对数据、文字、图表等信息数据及时地加以记录、整理、检索、分类、统计、综合和传递,得出人们所要求的有关信息。它是目前微型计算机最广泛的应用领域。数据处理的特点是原始数据多,时间性强,计算公式比较简单。例如财贸、交通运输、石油勘探、电报电话、医疗卫生等方面的计划统计、财务管理、物资管理、人事管理、行政管理、项目管理、购销管理、情况分析、市场预测等工作。目前,在数据处理方面已进一步形成事务处理系统(TPS)、办公自动化系统(OAS)、电子数据交换系统(EDI)、管理信息系统(MIS)和决策支持系统(DSS)等应用系统。

3. 过程控制(实时控制)

过程控制是指利用微型计算机进行生产过程、实时过程的控制,它要求很快的反应速度和很高的可靠性,以提高产量和质量,提高生产率,改善劳动条件,节约原料消耗,降低成本,达到过程的最优控制。例如,微型计算机广泛应用于石油化工、水电、冶金、机械加工、交通运输及其他国民经济部门中生产过程的控制以及导弹、火箭和航天飞船等的自动控制。

4. 计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)

由于微型计算机有快速数值计算、较强的数据处理以及模拟的能力,因此可以利用微型计算机进行辅助设计,可以提高设计质量和自动化程度,大大缩短设计周期,降低生产成本,节省人力物力。目前,CAD已被广泛应用在大规模集成电路、计算机、建筑、船舶、飞机、机械,甚至服装的设计上。除计算机辅助设计(CAD)外,还有计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)、计算机辅助教学(CAI)等。

5. 人工智能 (Artificial Intelligence, AI)

人工智能是使微型计算机能模拟人类的感知、推理、学习和理解等某些智能行为,实现自然语言理解与生成、定理机器证明、自动程序设计、自动翻译、图像识别、声音识别、疾病诊断,并能用于各种专家系统和机器人构造等。近年来人工智能的研究开始走向实用化。人工智能是微型计算机应用研究的前沿学科。

6. 计算机网络

计算机网络是利用通信设备和线路将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统连接起来所形成的“网”。利用计算机网络,可以使一个地区、一个国家,甚至在世界范围内计算机与计算机之间实现软件、硬件和信息资源共享,这样可以大大促进地区间、国际间的通信与各种数据的传递与处理,同时也改变了人们的时空概念。计算机网络的应用已渗透到社会生活的各个方面。目前,Internet已成为全球性的互连网络。

1.3 微型计算机中数的表示与运算

1.3.1 计算机中数的表示

1. 机器数和真值

在计算机中,无论数值还是数的符号,都只能用二进制码0、1来表示。通常用数的最高位作为符号位:0表示正数,1表示负数。例如(以8位为例),+18在机器中表示为00010010,-18在机器中表示为10010010。

这种在计算机中使用的,将正、负符号也数字化的数称为机器数,而把这个数本身,即机器数所表示的真实值称为真值。例如机器数10110101所表示的真值为-53,机器数00101010的真值为+42。

2. 原码、反码和补码

计算机中的机器数通常有3种不同的编码形式:原码、反码和补码。

(1) 原码

原码的编码规则如下:正数的符号位用0表示,负数的符号位用1表示,其余各位表示数值本身。其在计算机中的表示形式如图1.2所示。





图 1.2 原码的编码规则

① 正数(设字长为 8 位)

设 $X = +1101001(+105)$

则 $[X]_{\text{原}} = 0 \quad 1101001$
 符号位 数值位

② 负数

设 $X = -1101001(-105)$

则 $[X]_{\text{原}} = 1 \quad 1101001$
 符号位 数值位

③ 0

可以认为是 $+0$,也可以认为是 -0 。这样,0 在原码中有下列两种表示形式:

$[+0]_{\text{原}} = 0 \quad 0000000 \quad [-0]_{\text{原}} = 1 \quad 0000000$

遇到这两种情况,计算机都作为“0”来处理。

对于 8 位原码,其表示的数值范围为 $+127 \sim -127$ 。

$[+127]_{\text{原}} = 0 \quad 1111111 \quad [-127]_{\text{原}} = 1 \quad 1111111$

原码简单易懂,且与真值转换方便。但用原码做加、减法运算时,当两个异号数相加或两个同号数相减,就需要做减法运算。因此,在计算机中除了需要有加法器外,还需要有一个两数符号、两数绝对值的比较电路和一个减法器。这样,就增加了运算电路的复杂性。为了简化计算机运算电路,把减法运算转换成加法运算,人们在计算机中引入了反码和补码。

(2) 反码

反码的编码规则如下:

① 正数(设字长为 8 位)

反码与原码编码相同,即

$$[X]_{\text{反}} = [X]_{\text{原}} \quad (X \geq 0)$$

设 $X = +1101001(+105)$

则 $[X]_{\text{反}} = 0 \quad 1101001$
 符号位 数值位

又如: $[+4]_{\text{反}} = 0 \quad 0000100 \quad [+127]_{\text{反}} = 0 \quad 1111111$

② 负数

编码规则如下:除符号位仍为“1”外,其余各数值位是“按位取反”,如图 1.3 所示。

设 $X = -1101001(-105)$

则 $[X]_{\text{反}} = 1 \quad 0010110$
 符号位 数值位



图 1.3 负数的反码编码规则

又如: $[-4]_{\text{反}} = 1\ 1111011$ $[-127]_{\text{反}} = 1\ 0000000$

③ 反码的 0, 也有两种表示形式

$[+0]_{\text{反}} = 0\ 0000000$ $[-0]_{\text{反}} = 1\ 1111111$

对于 8 位反码表示的数值范围为 $+127 \sim -127$ 。

$[+127]_{\text{反}} = 0\ 1111111$ $[-127]_{\text{反}} = 1\ 0000000$

(3) 补 码

① 补码的概念

在日常生活中,有不少“补”的例子。以钟表对时为例,假设现在的标准时间是 3 点整,而表的时针指向 6 点整。为了校准时间,可以有如下两种拨表法:

a. 倒拨 3 小时 $6-3=3$

b. 顺拨 9 小时 $6+9=3$

在这里,为什么 $6+9$ 与 $6-3$ 是相等的呢? 因为,时钟顺拨时,到达 12 点后,会自动丢失一个数字 12,从 0 重新开始计时。即:

$$6+9=12(\text{自动丢失})+3=0+3=3$$

这个自动丢失的数(12)称为“模数”。由此可见,对于一个以 12 为模数的循环计数系统来说,6 减 3 与 6 加 9 是等价的。或者说, -3 与 +9 对模数 12 互为补数。可以用数学式表示为:

$$6-3=6+9 \quad (\text{mod } 12)$$

$$\text{或: } -3=+9 \quad (\text{mod } 12)$$

mod 12 表示以 12 为模数。和 -3 与 +9 互为补数相仿, -5 与 +7、-6 与 +6、-7 与 +5 等也都互为补数。不难看出,模数和某个数 X(例如 -3)相加所得的数 $[12+(-3)]=9$ 就为该数(-3)对模数 12 的补数,用 $[X]_{\text{补}}$ 表示,即:

$$[X]_{\text{补}} = \text{模数} + X$$

式中,模数=基数ⁿ, n 为该计数装置的位数(字长)。其实模数也就是计数装置的容量(该装置能够表示的数码总数),并且在该装置中模数与 0 等值。

在计时钟表中,引入补数概念之后,就可以将原来的减法 $6-3$ 转化为加法 $6+9=12$ (自动丢失)+3=3。对于任何计数装置来说,都一定存在一个固定的模数(容量)。现在再回来考虑一下计算机运算的特点。计算机中的部件都有固定的位数,假定位数为 n 位,则计算机可表示的数码总数为 2^n (包括符号位)。因此,计算机中的补码是以 2^n 为模数。即:

$$[X]_{\text{补}} = \text{模数} + X = 2^n + X \quad (\text{字长为 } n \text{ 位})$$

例如: $X = -1010111$ (字长为 8 位)

$$\text{则 } [X]_{\text{补}} = 2^8 + X$$

$$= 2^8 + (-1010111)$$

$$= 100000000 - 1010111 = 1\ 0101001 \quad (\text{mod } 2^8)$$

由于这种求 $[X]_{\text{补}}$ 的方法要做一次减法运算很不方便。要得到二进制的补码,可以不必做减法运算,而由该数的反码加 1 后得到。

② 补码的编码规则

a. 对于正数(字长=8 位):与反码一样,正数的补码编码与原码相同,最高位为符号位,用 0 表示,其余各数值位不变,也即正数的补码就是正数本身。用公式表示为:

