

72

辽宁省教育厅高校科研基金资助项目

T.P368.1
W376

单片机教程

王晓明 曾 红 编著

东北大学出版社

内 容 简 介

本书全面、详细地介绍了 MCS-51 单片机的组成原理和应用技术。主要内容包括: MCS-51 单片机组成原理、指令系统和程序设计、中断与定时技术、系统扩展技术、数/模及模/数转换与接口设计、异步串行通讯技术、可靠性技术、应用系统设计举例、习题与实验。

本书理论联系实际,重点突出,由浅入深,通俗易懂。本书面向单片机初学者,可以作为大学本科及专科院校相关专业教材,也可供成人教育、夜大、广播电视大学、自考及从事单片机技术的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机教程/王晓明,曾红编著. —沈阳:东北大学出版社,2001.12
ISBN 7-81054-693-7

I. 单… II. ①王… ②曾… III. 单片机-教程 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 041339 号

出 版 者: 东北大学出版社
(邮编: 110004 地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号)
出 版 人: 李毓兴
印 刷 者: 东北大学印刷厂
发 行 者: 东北大学出版社发行
开 本: 787mm×1092mm 1/16
字 数: 393 千字
印 张: 15.75
出版时间: 2001 年 12 月第 1 版
印刷时间: 2001 年 12 月第 1 次印刷
责任编辑: 任彦斌
责任校对: 米 戎
责任出版: 秦 力
封面设计: 唐敏智

总定价: 27.00 元

垂询电话: 024—83680267 (社务办) 024—83680265 (传 真)
 83687331 (发行部) 83687332 (出版部)

E-mail: neuph@neupress. com

http: //www. neupress. com

序

《单片机教程》是基于编著者教学的实践经验与现有的相关资料总结融会而成的一本好教材。这是一本系统、全面地讲解 MCS-51 系列单片机原理及其结构与扩展应用的指导性的书籍，它不仅可作为在校的大专院校学生的专业教材，而且也是从事单片机技术应用人员的良师益友。我谨代表辽宁省单片机学会向编著者表示衷心感谢。

在信息时代的今天，基于半导体集成技术的突飞猛进发展，各种类型的单片机正日新月异地涌向市场，为单片机技术的应用人员提供了极大的方便。

1980 年，INTEL 公司在 MCS-48 系列的基础上，推出高性能的 MCS-51 系列 8 位单片机。1982 年，INTEL 公司又推出了 MCS-96 系列 16 位单片机。而今，32 位单片机又以其强大的片内功能提供给应用者。无论是多少位数的单片机，也无论是哪一种系列的单片机，都为新产品的开发、应用系统的研制、智能控制器的研究、高新技术的应用创造了极其有利的硬件环境，借助指令所提供的软件条件，凭借人的聪明才智就可以研制出理想的产品。目前可以说，由于世界各生产厂家生产通用型单片机以及衍生出的五花八门的系列及型号，使单片机技术的应用已达到了无孔不入的地步。就国内十七八年的应用实践而言，使用量最大的是 8 位单片机，应用范围最广的也是 8 位单片机。

当初面向工业控制功能的单片机，现已远远超出了原设计者的想像。它已涵盖了人类生活的各个领域。然而，占全球单片机销量 60%~65% 的 8 位单片机，仍是当前应用的主流，并具有时代的魅力。

8051 内核已成为 8 位单片机发展的核心。INTEL 公司推出的高性能 MCS-51 系列 8 位单片机，一投入市场就受到使用者的欢迎。随着时间的推移，世界各生产单片机的公司看好 MCS-51 系列 8 位单片机的强劲趋势，在 8 位单片机的设计上纷纷向 MCS-51 系列 8 位单片机内核靠拢，PHILIPS 公司首先购买了 8051 内核的使用权，并在此基础上增加具有自身特点的 I²C 总线。ATMEL 公司通过技术交换取得了 80C31 内核的使用权，生产出 AT89C 系列单片机。SIEMENS 公司 SAB-C5 系列 8 位单片机 C500CPU，中国台湾 WINBOND 公司生产的 W78 系列 8 位单片机、LG 半导体公司生产的 GMS90/97 系列 8 位单片机，北京集成电路设计中心设计的高性能 8 位单片机 BT/AT_μ89C51，均与 MCS-51 系列 8 位单片机在指令系统和引脚上完全兼容。INTEL 公司将 8051 生产技术以不同形式向不同国家、不同公司转让，使以 8051 为内核的系列单片机衍生出大量的产品，满足了各个领域不同的应用需要。

当前 8 位机的主要发展趋势，一是提高和增加 8 位机的性能。许多公司把 16 位单片机性能下移到 8 位机中，以达到 8 位字长不变而增加其内部数据处理功能。TOSHIBA 公司把高位单片机的流水线技术，移到 TMP90 系列 8 位机中，使其具有流水线处理的高速工作功能。执行指令与提取指令可同时完成，最短指令执行时间为 250ns (16MHz)。美国国家半导体公司把高位单片机的 RISC 结构 (Reduced Instruction Set Computer) 技术，移到 COP8SK 系列 8 位单片机，提高了指令执行的速度。采用流水线技术和 RISC 结构，这在 8 位单片机中不多见。

二是提高工作频率。世界各大公司都致力于提高 CPU 对指令的执行速度。PHILIPS 公司推出的 89Cxx 系列工作频率已达 33MHz。WINBOND 公司生产的 W78 系列 8 位单片机工作频率高达 41MHz。SIEMENS 公司 SAB-C5 系列 8 位单片机工作频率达 48MHz。EPSON 公司生产的 SMC88 系列和 HITACHI 公司生产的 H8/300 系列 8 位机均具有双时钟系统。

三是增加 8 位单片机自身的功能。目前高性能 8 位单片机自身增加了许多功能。HITACHI 公司生产的 H8/300 系列 8 位机有 8~16 通道的 8 位/10 位 A/D 转换, SIEMENS 公司 SAB-C5 系列 8 位单片机有 8 通道 10 位 A/D 转换。高位多通道 A/D 转换为使用者处理模拟信息带来极大的方便。8 位单片机自身的功能增加, 为用户使用不同类型的 8 位单片机提供了选择余地。

四是在 8 位单片机内增加 CAN 总线控制模块。CAN (Controller Area Network) 是一种多主机局部网络系统, 最高通讯速率可达 1Mbit/s, 最大通讯距离可达 5000 M。CAN 总线作为现场总线的一种, 在工业控制上已发挥更大的作用。在 8 位单片机内增加 CAN 总线控制模块, 不仅面向控制器局域网, 而且也为上位机、下位机及多机控制提供了极好的条件, 并在智能控制器的研制方面得到了应用。

五是 8 位单片机向低功耗小型化发展。Microchip 公司推出的 8 和 18 引脚, 低功耗 PIC 系列 8 位单片机、中国台湾义隆公司 EM78 系列 18 引脚 8 位单片机, 工作频率高达 36MHz, 它比 PIC 单片机在 CALL 指令调用时扩大了调用范围。中国武汉力源公司和 LG 半导体公司合作生产的 GMS 97C1051/ 2051 为 20 脚, ATMEL 公司 AT89C2051 单片机为 20 脚, 美国 COP8SK 系列 8 位单片机采用 RISC 结构, 16 和 20 脚的小型封装。这种小型封装的 8 位单片机将 8 位 CPU、程序存储器、数据存储器 and 驱动电路置于一块之内, 总线不外引。应该说, 这种小型封装的 8 位单片机才称得上真正的“单片机”。

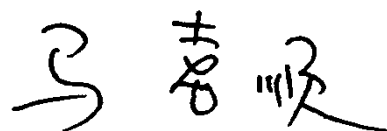
目前世界上生产单片机的公司都在努力提高 CPU 速度, 采用多级流水线操作方式提高指令的执行速度, 扩大寻址能力。在结构上细致化、智能化、密集化, 增加片内功能, 提高 I/O 口驱动能力, 尽量减少外部接口芯片。提供与主机接口, 增强片内全面功能管理。降低单片机的功耗, 提高宽电源的适应能力、高噪声容限及电磁兼容性。面向应用对象的多功能多品种的增强型单片机将不断面世。

单片机支持多任务操作系统, 力图把一个单片机做成一个完整的应用系统, 向总线不外引的单片机发展, 总线封闭的单片机才称得上真正的单片机。单片机随着半导体集成技术的高速发展而发展, 将为应用者提供更大的方便。

《单片机教程》的编写就是基于 8 位单片机仍是当前应用的主流并具有时代魅力。而 MCS-51 系列 8 位单片机具有典型性、普遍性、代表性。了解掌握 MCS-51 系列内核的硬件结构及其原理, 对于实际应用以及了解掌握其他类型的单片机都会起到事半功倍的效果。

单片机技术已广泛应用在各个领域, 了解单片机的发展动态, 掌握单片机的性能, 清楚仿真器的功能, 定会为设计的系统带来更多的益处。

中国单片机学会 理事
辽宁省单片机学会 理事长



2001 年 8 月 于沈阳

前 言

计算机的出现使人类的生活发生了天翻地覆的变化。单片机 (Microcontroller) 也是伴随着计算机的产生而产生和发展的。可以毫不夸张地说, 单片机技术的出现给现代工业测控领域带来了一次新的技术革命。它使原来用分立元件进行的控制, 转变到用程序进行控制, 使控制的可靠性增加了, 功能增加了, 成本降低了, 控制更灵活了。最重要的是, 使学习和掌握测控技术变得更容易了。许多非自控专业的人员也能毫不费力地、甚至通过自学单片机技术而成为本专业的控制专家。因单片机技术的应用而产生了许多新兴的专业, 它开辟了更多的单片机应用领域, 如工业控制、自动化设备、机床、数据采集和处理、智能化仪器仪表、办公自动化、家电、汽车、医疗器械等。越来越多的人正在关心、学习、从事单片机应用技术。

本书主要介绍 MCS-51 系列单片机的原理和应用技术。MCS-51 系列单片机在我国应用得较早, 许多与单片机相关的专业课大多以 MCS-51 系列单片机作为接口应用的典型例子。随着单片机应用的普及, 世界上许多集成电路生产商推出了各种类型的单片机, 它们的功能更强, 速度更快, 功耗更低。我们希望通过学习 MCS-51 系列单片机的学习, 使读者从概念上、应用上打下一个坚实的基础。必要时, 可以通过自学就会很容易地掌握其他种类的单片机应用技术。

目前有关 MCS-51 系列单片机的书很多, 由于侧重点不同, 它们的差别很大。有的着重理论阐述缺少实际应用知识而使教学与实际脱节, 有的内容笼统、模糊, 甚至电路连接和程序设计存在错误, 不适于教学, 并给学生自学带来一定的困难, 为此, 编写了这本书。本书集中了我们多年来单片机教学和科研的实际经验, 注重将单片机原理与实际应用相结合; 避免电路连接和应用程序上出错; 注重由浅入深、概念清晰、内容详尽。另外结合近几年单片机技术的发展变化, 增加了新的知识内容, 使之更贴近于教学实际。所有这些都使本书不仅可以作为教材供大中专学生使用, 还可以作为工程技术人员自学的参考书。

全书共 10 章: 第 1 章概述了单片机的产生、发展和重要作用, 以及数制的转换; 第 2 章着重介绍了单片机的内部组成和工作原理; 第 3 章讲述了单片机指令系统、编程方法和汇编语言程序设计; 第 4 章重点介绍中断和定时/计数器的功能, 以及如何实现这些功能; 第 5 章详细介绍了单片机的存储器扩展和 I/O 扩展技术 (包括键盘、显示和打印机的接口设计及驱动程序设计); 第 6 章叙述了单片机数/模转换和模/数转换接口方法; 第 7 章介绍了单片机异步串行通信接口技术; 第 8 章介绍了单片机可靠性技术 (包括电源净化、接地、抗干扰技术); 第 9 章通过举例介绍单片机的实际应用方法; 第 10 章介绍了单片机实验操作和几个典型实验。多数章的后面都配有与该章内容紧密相关的思考题和练习题, 目的是使读者能够掌握和巩固所学的知识。

本书得到辽宁省教育厅高校科研基金资助 (项目编号: 20032086, 20032087)。在编写的过程中, 受到辽宁省单片机学会理事长马喜顺老师的指导和教诲, 在此表示衷心地感谢。

本书的第 2, 5 章由王晓明编写, 第 3, 4 章由曾红编写, 第 6, 7 章由张德强编写, 第

1, 9 章由梅丽凤编写, 第 8 章由汪毓铎编写, 第 10 章及附录由杨红梅编写。全书的统编工作由王晓明完成。

由于作者水平有限, 书中难免有错误和不完善之处, 敬请读者批评指正。

王晓明

2001 年 8 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 单片机概述	1
1.2 MCS-51 单片机系列	2
1.3 数制	3
1.4 编码	7
习 题	8
第 2 章 MCS-51 单片机组成原理	10
2.1 MCS-51 单片机硬件结构及引脚功能	10
2.2 MCS-51 单片机内部存储器	12
2.3 并行 I/O 口结构	19
2.4 时钟电路和 CPU 时序	22
2.5 复位状态与复位电路	26
2.6 掉电保护和低功耗设计	27
习 题	28
第 3 章 MCS-51 指令系统及程序设计	30
3.1 MCS-51 指令系统概述	30
3.2 数据传送类指令	35
3.3 算术运算类指令	41
3.4 逻辑运算及移位类指令	46
3.5 控制转移类指令	49
3.6 位操作类指令	54
3.7 指令系统应用举例	57
3.8 汇编语言程序设计	59
习 题	71
第 4 章 中断与定时	73
4.1 中断的基本概念	73
4.2 MCS-51 单片机的中断系统	73
4.3 MCS-51 定时/计数器	80
4.4 定时/计数器应用举例	86
习 题	93

第 5 章 单片机系统的扩展技术	95
5.1 MCS-51 系列单片机的外部总线	95
5.2 程序存储器扩展	97
5.3 数据存储器扩展	101
5.4 存储器的区分	102
5.5 I/O 接口扩展概述	103
5.6 I/O 直接应用	109
5.7 I/O 简单接口扩展	112
5.8 8255A 可编程并行 I/O 扩展	115
5.9 微型打印机接口技术	122
5.10 8155 可编程 I/O 扩展	124
5.11 键盘接口技术	130
5.12 LED 显示接口技术	136
习 题	139
第 6 章 数/模及模/数转换器与单片机接口设计	141
6.1 基本概念	141
6.2 D/A 转换器接口和应用	141
6.3 A/D 转换器的接口和应用	149
习 题	154
第 7 章 异步串行通信接口技术	156
7.1 串行通信基础	156
7.2 MCS-51 串行通信接口	159
7.3 串行通信工作方式	161
7.4 单片机多机通信	170
习 题	175
第 8 章 单片机可靠性技术	176
8.1 电源及净化技术	176
8.2 接地、屏蔽、隔离及抑制反电动势技术	178
8.3 软件抗干扰技术	182
习 题	184
第 9 章 单片机应用系统设计举例	185
9.1 单片机控制系统设计方法	185
9.2 热敏电阻温度检测	186
9.3 水塔水位控制	189
9.4 火灾报警控制系统	192

9.5	交通信号灯模拟控制	194
9.6	步进电机控制	199
第 10 章	MCS-51 单片机实验	205
10.1	实验一 8031 单片机 P3, P1 口应用	205
10.2	实验二 8255 控制交通灯	207
10.3	实验三 简单 I/O 口扩展实验	212
10.4	实验四 A/D 转换实验	214
附 录	MCS-51 系列单片机指令表	217
参考文献		242

第1章 绪 论

1.1 单片机概述

单片微型计算机(Microcontroller)是把组成微型计算机的各功能部件,即中央处理器CPU、随机存储器RAM、只读存储器ROM、I/O接口电路、定时/计数器以及串行通讯接口等部件制作在一块集成芯片中,简称单片机。它是随微型计算机的发展而产生和发展的,在智能化仪表、检测和控制系统领域中,有着广泛的应用。

1.1.1 单片机的发展概况

单片机的发展历史并不长,从1971年微处理器研制成功之后,不久便产生了单片机。纵观其发展过程,主要分以下三个阶段。

第一阶段:(1976~1978年)为单片机发展的初级阶段。1976年,Intel公司推出MCS-48单片微型计算机。它们以体积小、功能全、价格低等特点得到了广泛的应用,为单片机的发展奠定了基础,成为单片机发展的一个重要阶段。

第二阶段:(1978~1983年)为高性能单片机发展阶段。1978年,Motorola公司推出M6800系列单片机,Zilog公司推出Z8系列单片机。1980年,Intel公司又推出MCS-51系列单片机。这类单片机带有串行口,有多级中断处理系统,16位定时/计数器,片内RAM、ROM容量加大,寻址范围可达64K字节,有的片内带有A/D转换接口。MCS-51系列产品,由于其优良的性能价格比,特别适合我国的国情。

第三阶段:(1983年至今)为16位单片机的推出和8位单片机继续提高性能的阶段。1982年,Motorola公司和Intel公司先推出比8位单片机性能更高的16位单片机M68000和MCS-96系列,NS公司又推出HPC16040系列16位单片机。同时,各计算机公司对8位高档单片机不断提高其性能并开发新产品,如扩大片内存储器容量,增加定时器,加强中断功能,芯片小型化,采用CMOS工艺设计出低功耗8位高档单片机。

1.1.2 单片机的应用

单片机的应用已经渗透到工业、农业、商业、交通运输、教学科研以及人们的日常生活等各个领域,成为现代社会生活的重要支柱,发挥着极其重要的作用,并取得了极为可观的效益。单片机的主要应用领域如下。

(1) 测控系统

用单片机可以构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等。例如温室人工气候控制、水闸自动控制、电镀生产线自动控制、车辆检测系统等。

(2) 智能化仪器仪表

用单片机改造原有的测量、控制仪表,能促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。通过采用单片机软件编程技术,使长期以来测量仪表中的误差修正、线性化处理等

难题迎刃而解。

(3) 机电一体化产品

机电一体化产品要求其电气控制部分具有实时性、高可靠性、智能化、价格低廉等特点,所有这些均决定了单片机是机电一体化产品中控制核心(控制器)的最佳选择。

以单片机为核心控制器的机电一体化产品,诸如彩色胶片洗印机、全自动洗衣机、电镀生产线控制系统、冶金配料系统、数控机床等,已成为传统工业技术改造的有力工具。

(4) 智能接口

较大型的工业测控系统中,如果用单片机进行接口的控制管理,单片机与主机可并行工作,可以大大提高系统的运行速度。例如,在大型数据采集系统中,用单片机对模/数转换接口进行控制,不仅可以提高采集速度,还可对数据进行预处理,如数字滤波、线性化处理、误差修正等。

(5) 智能电子电器产品

目前,很多电子电器产品越来越多地将单片机作为其核心控制部件。单片机正在快速进入各种电子电器产品中,如程控电话自动交换机、银行利率机、电子收款机、录像机等,从而大大改善这类产品的性能,增加了它们的自适应性、可调节性和精密程度。

1.2 MCS-51 单片机系列

国际市场上有众多的单片机,应用较广、影响较大的应属 MCS-51 系列单片机,该系列单片机分类见表 1-1。

表 1-1 MCS-51 系列单片机分类表

子系列	片内 ROM 形式			片内 ROM 容量	片内 RAM 容量	寻址范围	I/O 特性			中断源
	无	掩膜 ROM	EPROM				计数器	并行口	串行口	
51 子系列	8031	8051	8751	4KB	128B	2×64KB	2×16	4×8	1	5
	80C31	80C51	87C51	4KB	128B	2×64KB	2×16	4×8	1	5
52 子系列	8032	8052	8752	8KB	256B	2×64KB	3×16	4×8	1	6
	80C32	80C52	87C52	8KB	256B	2×64KB	3×16	4×8	1	6

说明:

① 8031/8051/8751 三种型号,常称为 8051 子系列,它们之间的区别仅在于片内程序存储器。8051 片内为掩膜 ROM,内部程序不能改写,不便于实验开发。8751 具有片内 EPROM。8031 片内没有 ROM,但市场上价格很低,只需在片外扩展一片 EPROM 便可实现 8751 所拥有的功能,所以应用得非常广泛。

② 8032/8052/8752 是 8031/8051/8751 的增强型,常称为 8052 子系列。其片内 ROM 和 RAM 比 8051 子系列各增加一倍。另外,增加了一个定时器/计数器和一个中断源。

③ 80C31/80C51/87C51 是 8051 子系列的 CHMOS 芯片,可称为 80C51 子系列。两者功能兼容,CHMOS 型芯片的基本特点是功率低。

1.3 数制

1.3.1 进位计数制

(1) 十进制数(用 D 作后缀)

在日常生活中,人们已经非常熟悉和习惯使用十进制数,它的数值部分是用 10 个不同的数字符号 0~9 表示的。例如 145.63,小数点左边第一位表示个位,数值为 5×1 ,小数点左边第二位数表示十位,数值为 4×10 ,小数点左边第三位数表示百位,数值为 1×100 ;小数点右边第一位数 6 表示 $6/10$,小数点右边第二位数 3 表示 $3/100$ 。因此,这个数可以写成

$$145.63 = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$$

所以若用 X_i 表示 0~9 十个数中的任意一个,那么,一个含有 n 位整数, m 位小数的十进制值可表示为:

$$\begin{aligned} N &= X_{n-1} \times 10^{n-1} + X_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + X_0 \times 10^0 + X_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=m}^{n-1} X_i \times 10^i \end{aligned}$$

N 表示该数的十进制值。10 称为计数制的基数, 10^i 为该位的权。

(2) 二进制数(用 B 作后缀)

以 2 为基数的数值叫二进制,它只包括两个符号 0 和 1,而且是“逢二进一”,它第 i 位上的权为 2^i 。例如:

$$(1010.1)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$$

如果用 X_i 表示 0, 1 两个数中的任一个,那么一个含有 n 位整数, m 位小数的二进制数可表示为:

$$N = X_{n-1} \times 10^{n-1} + X_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + X_0 \times 2^0 + X_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{i=m}^{n-1} X_i \times 2^i$$

(3) 二进制的特点

在计算机中,皆采用二进制进行运算,这是因为二进制较其他进位制有更特殊的优点。首先,二进制数码只有取 0 和 1 两个数码,使计算机只需要具有两个稳定状态的元件,因而制造它比制造具有较多稳定状态的元件要容易得多。例如,利用晶体管的截止、饱和,电位的高和低,灯的亮和灭,脉冲的“有”和“无”或“正”和“负”等。其次,二进制数计算简单,因而实现运算的计算电路简单、可靠,运算速度快。它们的基本运算法则是:

$$\begin{array}{ll} \text{加法} & 0+0=0 \\ & 0+1=1+0=1 \\ & 1+1=10 \\ \text{乘法} & 0 \times 0=0 \\ & 0 \times 1=1 \times 0=0 \\ & 1 \times 1=1 \end{array}$$

减法和除法分别是加法和乘法的逆运算。在做减法遇到不够减时,需向高位借位,借一作二。

根据上述规则,便可容易地进行二进制数的四则运算。例如:

	1 0 1 1	被加数		1 0 0 1 1	被减数
+	1 1 0 1	加数	-	1 1 0 1	减数
	1 1 0 0 0	和		0 1 1 0	差
	1 1 0 0 1 1	被乘数		0 0 0 1 1 1	商
×	1 0 1 1	乘数	1 0 1	1 0 0 1 0 0	被除数
	1 1 0 0 1 1		除数	1 0 1	
	1 1 0 0 1 1			1 0 0 0	
	0 0 0 0 0 0			1 0 1	
	1 1 0 0 1 1			1 1 0	
	1 0 0 0 1 1 0 0 0 1	和		1 0 1	
				1	余数

二进制虽然计算简单,但书写和阅读非常不便,为程序编写带来困难,所以程序编制时常用十六进制数。

(4) 十六进制数(用 H 作后缀)

在十六进制中,每位可选用的数值共 16 个,即 0~9, A~F(A~F 对应十进制中的 10~15)。逢十六进位,基数为 16。从低位起各位权依次是 $16^0, 16^1, 16^2, \dots$ 。那么,一个含有 n 位整数, m 位小数的十六进制数可表示为:

$$N = X_{n-1} \times 16^{n-1} + X_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + X_0 \times 16^0 + X_{-1} \times 16^{-1} + \dots + X_{-m} \times 16^{-m}$$

$$= \sum_{i=m}^{n-1} X_i \times 16^i$$

1.3.2 数制转换

(1) 十进制数转换为二进制数

要把十进制整数转换为二进制整数,可以采用“逐次除 2 取余法”,即把一个十进制整数依次除以 2,并记下每次所得的余数(余数总是 1 或 0),最后所得的余数的组合即为相应的二进制数。第一位余数为最低位,最后一个余数为最高位。

例 1-1 将十进制数 44 转换成二进制数。

商	余数
44/2=22	0
22/2=11	0
11/2=5	1
5/2=2	1
2/2=1	0
1/2=0	1

转换得到的二进制数为 101100。

同样,要将一个十进制小数转换成二进制,则应将十进制小数连续不断地乘以 2,并记录所得的溢出数(即整数部分),直到乘积为零时止。但有时结果永不为 0,此时,只要转换到所要求的精度为止即可。第一次溢出的数为小数的最高位,最后一次溢出的为最低位。

例 1-2 将十进制数 0.625 转换成二进制。

$0.625 \times 2 = 1.25$	小数部分 0.25	溢出 1
$0.25 \times 2 = 0.5$	小数部分 0.5	溢出 0
$0.5 \times 2 = 1.0$	小数部分 0	溢出 1

所以转换成的二进制数就为 0.101B。如果十进制数包含整数和小数部分,可按上述两种方法将整数和小数分别进行转换。

(2) 十进制数转换为十六进制数

十进制数转换为十六进制数与十进制数转换为二进制数相似。即整数部分用“除 16 取余法”,小数部分用“乘 16 取整法”。

例 1-3 将 1256.375 转换成十六进制数:

	商	余数
整数部分	$1256/16 = 78$	8
	$78/16 = 4$	14
	$4/16 = 0$	4
小数部分	$0.375 \times 16 = 6$	整数为 6

因此转换得到的十六进制数为 4E8.6。

(3) 二进制、十六进制数转换为十进制

只要根据该数制的权展开式就可以得到对应的十进制数。

$$\begin{aligned} \text{例 1-4 } (10011.11)_2 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 2 + 1 + 0.5 + 0.25 = (19.75)_{10} \end{aligned}$$

$$\text{例 1-5 } (71.A)_{16} = 7 \times 16^1 + 1 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} = (113.625)_{10}$$

(4) 二进制数与十六进制数的相互转换

十六进制的每一位都与四位二进制数相对应,将二进制数转换为十六进制数的方法是从小数点开始向左(右)每四位划为一组读数,将四位二进制数用一位十六进制数表示。

$$\text{例 1-6 } (110101000)_2 = (1, 1010, 1000)_2 = (1A8)_{16}$$

$$(110.001)_2 = (0110.0010)_2 = (6.2)_{16}$$

要把十六进制数转换为二进制数,可将每一位十六进制数转换成对应的四位二进制数。

$$\text{例 1-7 } (51B.C1)_{16} = (0101, 0001, 1011.1100, 0001)_2。$$

1.3.3 数的表示方法

(1) 机器数与真值

在数学中用正负号表示数的正负,由于计算机不能识别正负号,因此计算机将正、负号数字化,以便识别。通常在数的前面加一位,作为符号位。符号位为 0 表示该数为正数,符号位为 1 表示该数为负数。

$$\text{如: } X_1 = (01011011)_2 = +91$$

$$\text{而 } X_2 = (11011011)_2 = -91$$

像上面这样,连同符号位在一起的数,就称之为机器数,而它的数值就称为该机器数的真值。

在计算机中,机器数通常有三种表示方法,即原码、反码和补码表示法。

(2) 原码

正数的符号位用“0”表示,负数的符号位用“1”表示,这种表示法就称为原码。

例 1-8 $X_1 = (+91)_{10}$, 则 $[X_1]_{\text{原}} = 01011011$

$X_2 = (-91)_{10}$, 则 $[X_2]_{\text{原}} = 11011011$

用原码表示时, +91 和 -91 数值位相同,而符号位不同。

原码的优点是它与真值的转换非常方便,只要将真值中符号位数字化即可。一个字节所表示的原码数值的范围为 $-127 \sim +127$ 。但使用原码作两数相加时,计算机必须对两个数的符号是否相同作出判断。当两数符号相同时,进行加法运算,否则就要作减法运算。对于减法运算又要比较两个数的绝对值的大小,然后从绝对值大的数中减去绝对值小的数而得其差值,差值的符号取决于绝对值大的数的符号。为了完成这些操作,计算机的结构,特别是控制电路随之变得复杂,而且运算速度也变得较低,因此在计算机一般不采用原码形式表示数。

(3) 反码

正数的反码表示与原码相同,最高位为符号位,用“0”表示正,其余位为数值位。

例 1-9 $X = +14$, 则 $[X]_{\text{反}} = 00001110$

$X = +127$, 则 $[X]_{\text{反}} = 01111111$

负数的反码表示与它相应的正数的原码连同符号位一并逐位求反。例:写出 $(-31)_{10}$, $(-127)_{10}$ 的反码,即

$$(-31)_{10} \rightarrow (+31)_{\text{原}} \rightarrow 00011111 \xrightarrow{\text{连同符号位一起求反}} [-31]_{\text{反}} \rightarrow 11100000$$

$$(-127)_{10} \rightarrow (+127)_{\text{原}} \rightarrow 01111111 \xrightarrow{\text{连同符号位一起求反}} [-127]_{\text{反}} \rightarrow 10000000$$

反码有如下特点:

① “0”有如下两种表示法: $[+0]_{\text{反}} = 00000000$, $[-0]_{\text{反}} = 11111111$;

② 8 位二进制反码所能表示的数值范围为 $-127 \sim +127$;

③ 当一个带符号数用反码表示时,最高位为符号位。当符号位为 0(即正数)时,后面的七位为数值部分;但当符号位为 1(即为负数)时,一定要注意后面 n 位表示的不是此负数的数值,只有将他们按位取反后,才表示二进制数值。例如一个反码表示的数:

10010100 是一个负数,它不等于 $(0010100)_2 = -20$,而是等于 $(1101011)_2 = -107$ 。

(4) 补码

正数的补码表示与原码、反码相同,即最高位为符号位,用“0”表示正,其余位为数值位。

例如:

$X = +31$, 则 $[X]_{\text{补}} = 00011111$

$X = +127$, 则 $[X]_{\text{补}} = 01111111$

负数的补码为其反码加 1 形成的。例如:

$X = -31$, 则 $[X]_{\text{补}} = 11100001$

$X = -127$, 则 $[X]_{\text{补}} = 10000001$

补码表示所具有的特点:

① $[+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = 00000000$;

② 8 位二进制补码所能表示的数值为: $-128 \sim +127$;

③ 一个用补码表示的二进制数,最高位是符号位。当符号位为“0”(即为正数)时,其余 7

位即为此数的二进制数。当符号位为“1”(即为负数)时,其余七位不是此数的二进制数。把它先减 1,再按位取反,才是它们的二进制值。

例 1-10 一个补码表示的数 10010100 同样是一个负数,它不等于 $(0010100) = -20$,它的数值为 0010100 减 1 得到 0010011,然后再取反为 1101100,加上符号位则为 $-(1101100)_2 = -108$ 。

在日常生活中,有不少“补”数的例子。例如钟表,若标准时间为 6 点整,而现在有一只表为 10 点,那么要拨 6 点钟,可以有如下两种拨法:

① $10 - 4 = 6$,倒拨;

② $10 + 8 = 6$,顺拨。

所以在这里 10 加 8 与减 4(或加 -4)是相同的。当然这是在钟表中。 $10 - 4 = 10 + 8 = 6$ (模 12),可以将 $10 - 4$ 与 $10 + 8$ 对模 12 是同余的,也即 +8 与 -4 对模 12 互为补数。

由此可知:对于某一确定的模,某数减去小于模的数,总可以用加上该数的负数与某模数之和(即补数)来代替。随意引进补码后,减法就可以转换为加法了。

该结构可以同样推广至二进制的运算,其模即为机器所能表示的最大的二进制数。例如在字长为 8 位的计算机中,其模为 $2^8 = 256$ 。只是在求二进制的补码时,可以不再做减法,而是可以通过另一途径,即按位取反加 1 来得到。

1.4 编 码

计算机的基本部件是各种微电子电路。计算机中所处理和传输的信息是各种形式的电信号。因此,若要计算机进行数据处理和执行程序,必须先将各种数字、符号表示的程序和数据变换成计算机能够识别和处理的电信号。实际上就是数字、符号对应的二进制代号,即利用 0 和 1 对各种信息进行编码。

1.4.1 数字编码

由于人们在计算机工作中最熟悉的是十进制数,而计算机系统却是在二进制的基础上建立起来的。因此,在要求计算机处理十进制数时,就要寻找一种既能被计算机直接接受又基本符合人们对十进制的要求的二进制编码方案,即用二进制数表示十进制数 0~9 的所谓二十进制编码方案,称为 BCD 码。

十进制有 10 个不同的数码 0~9。为了区分这 10 个状态,需用 4 位二进制编码。4 位二进制数可以产生 $2^4 = 16$ 种组合状态,从这 16 种状态中取出 10 种就可以实现一种方案。表 1-2 是几种常见的码。

8421BCD 码是目前最常用的方案,这种码是由 4 位二进制数的 0000(0)到 1111(15)16 种组合的前 10 种,即 0000(0)~1001(9),其余 6 种组合是无效的。

1.4.2 字符编码

计算机中常用的字符编码有对数字和字母进行编码的 ASC II 码以及各种汉字编码。在计算机和外设之间时常进行着信息交换,其中包括数字 0~9,英文大、小字母以及用于控制的特殊字符。由于计算机只能认识二进制代码,因此对代表一定意义的数或字符就必须进行二进制编码。ASC II 码是美国标准信息交换码(American Standard Code For Information

Interchange)。它是采用 7 位($b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$)二进制代码,可以表示 $2^7 = 128$ 个符号。它不仅表示 0~9 这 10 个十进制数,也能表示 26 个大、小英文字母以及一些控制功能符和运算符。ASC II 码表见表 1-3。

表 1-2

几种常见的码

$b_3 \quad b_2 \quad b_1 \quad b_0$				代码对应的十进制数				
2^3	2^2	2^1	2^0	自然二进制码	二十进制数			
					8421 码	2421 码	5421 码	余三码
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	1	1	1	1	1	
0	0	1	0	2	2	2	2	
0	0	1	1	3	3	3	3	0
0	1	0	0	4	4	4	4	1
0	1	0	1	5	5			2
0	1	1	0	6	6			3
0	1	1	1	7	7			4
1	0	0	0	8	8		5	5
1	0	0	1	9	9		6	6
1	0	1	0	10			7	7
1	0	1	1	11		5	8	8
1	1	0	0	12		6	9	9
1	1	0	1	13		7		
1	1	1	0	14		8		
1	1	1	1	15		9		

表 1-3

ASC II 码表

$b_3 \quad b_2 \quad b_1 \quad b_0$				$b_6 b_5 = 00$		$b_6 b_5 = 01$		$b_6 b_5 = 10$		$b_6 b_5 = 11$	
b_3	b_2	b_1	b_0	$b_4 = 0 \quad b_4 = 1$		$b_4 = 0 \quad b_4 = 1$		$b_4 = 0 \quad b_4 = 1$		$b_4 = 0 \quad b_4 = 1$	
0	0	0	0	控制符		间隔	0	@	P		p
0	0	0	1			:	1	A	Q	a	q
0	0	1	0			"	2	B	R	b	r
0	0	1	1			#	3	C	S	c	s
0	1	0	0			\$	4	D	T	d	t
0	1	0	1			%	5	E	U	e	u
0	1	1	0			&	6	F	V	f	v
0	1	1	1			'	7	G	W	g	w
1	0	0	0			(	8	H	X	h	x
1	0	0	1			)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0			*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1			+	;	K	[	k	
1	1	0	0			,	<	L	\	l	
1	1	0	1			-	=	M	]	m	
1	1	1	0			.	>	N	^	n	~
1	1	1	1			/	?	O	_	o	注销

习 题

- 1-1 简述微型计算机的特点。
- 1-2 简述微型计算机系统的组成。