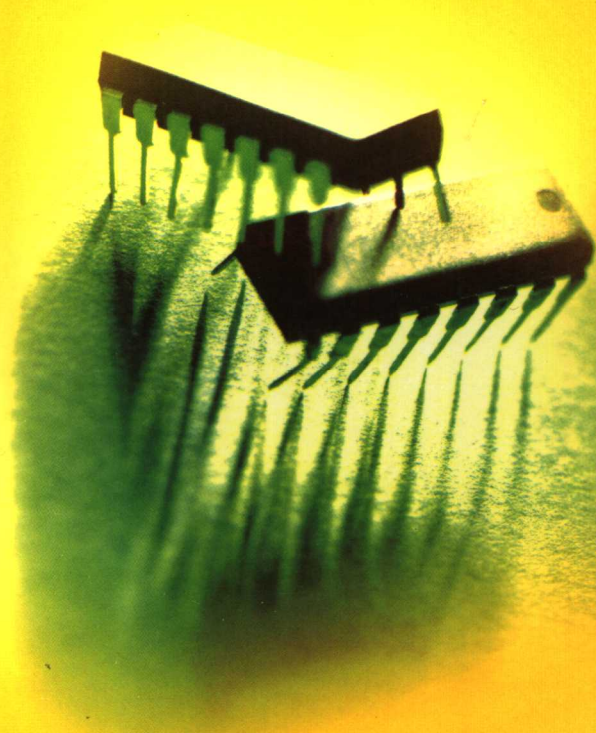


21世纪高等职业教育规划教材

单片机原理 及接口技术教程

主 编 何 宏
副主编 刘宝玖 潘红艳



國防工業出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等职业教育规划教材

单片机原理及接口技术教程

主 编 何 宏
副主编 刘宝玖 潘红艳

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以简明的叙述、通俗的语言,全面介绍了 80C51/89C51 系列单片机的基本原理和接口技术。全书共分 10 章,主要内容包括:计算机基础、MCS-51 单片机的结构和工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、存储器扩展、输入/输出和中断、定时计数技术、串行通信、接口技术及单片机开发应用系统设计。该书选材新颖,内容系统、结构清晰,概念准确,通俗易懂。每章都附有思考题与习题。

本书可供高职高专、大中专电子信息/通信工程、自动化、机电一体化、机械和计算机专业及其他各工科类专业选用,还可供广大科技人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及接口技术教程/何宏主编.—北京:国防工业出版社,2006.11
21 世纪高等职业教育规划教材
ISBN 7-118-04787-2

I. 单... II. 何... III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校:技术学校—教材②单片微型计算机—接口—高等学校:技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 113542 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 350 千字

2006 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书可供高职高专及大中专电子信息/通信工程、自动化、机电一体化、机械和计算机专业及其他各工科类专业学习单片机原理与应用课程选用的通用教材,还可供广大科技人员自学参考。

本书以简明的叙述、通俗的语言,全面介绍了 80C51/89C51 系列单片机的基本原理和接口技术。全书共分 10 章,主要包括:计算机基础、MCS-51 单片机的结构和工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、存储器扩展、输入/输出和中断、定时计数技术、串行通信、接口技术及单片机开发应用系统设计。每章都附有思考题与习题。全书结构紧凑、层次分明;力求语言简单明了、通俗易懂。本书主要特点是:

1. 例题丰富、重点突出、难点分散、形式多样。本书以面向应用为主,在例题、接口电路等的选择上,尽量考虑与实际工程应用相结合,插入了大量的电路连接图、结构图、时序图和详细的分析说明。

2. 注重基础性、系统性和新颖性。把单片机的组成原理与汇编语言程序设计结合起来。第 2 章讲述 MCS-51 单片机的组成原理,第 3 章讲述指令系统与汇编语言程序设计,尤其是在汇编语言程序设计中,通过例题,讲述汇编语言程序的结构、算法和技巧。

3. 由浅入深、通俗易懂。在介绍单片机基本组成原理与程序设计的基础上,讲述单片机外部存储器扩展、系统扩展的方法和步骤。首先介绍常用外围接口电路,然后讲述外部数据/程序存储器扩展、数据输入/输出方式、A/D、D/A 转换接口电路、键盘/显示器接口电路及串行多机通信。这些,可使学生初步掌握单片机外部扩展的方法,从而构成单片机基本应用系统。

4. 突出单片机应用系统的设计思想与方法。第 10 章主要讲述单片机应用系统的研制过程和单片机应用系统中对单片机的监控方法,通过实例讲述单片机控制系统的设计思想和方法。

本书由何宏教授主编,刘宝玖、潘红艳副主编,参加本书编写工作的人员还有苏梅、赵伟、曹金玲、岑永祚、韩桂利、李刚。

由于单片机技术的发展日新月异,新技术层出不穷,加之时间仓促,编者水平有限,错误和不当之处在所难免,敬请各位读者和专家指正。

作者 E-mail:heho604300 @126.com。

作者

于天津理工大学

2007 年 1 月

目 录

第 1 章 计算机基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 单片机的发展历史	1
1.1.2 单片机的应用领域和应用方式	3
1.2 计算机中数据的表示	4
1.2.1 计算机中的数制	4
1.2.2 计算机中数据的表示方法	8
1.2.3 计算机中非数值数据信息表示	13
思考题与习题	16
第 2 章 MCS-51 单片机的结构和工作原理	18
2.1 概述	18
2.2 中央处理器 CPU	20
2.2.1 运算器	20
2.2.2 控制器	21
2.3 MCS-51 单片机外部特性	22
2.3.1 引脚功能	22
2.3.2 引脚的第二功能	23
2.4 MCS-51 单片机时钟电路及 CPU 的工作时序	24
2.4.1 时钟电路	24
2.4.2 CPU 的工作时序	25
2.5 MCS-51 单片机存储器分类及配置	27
2.5.1 程序存储器	28
2.5.2 数据存储器	29
2.6 布尔处理器	35
2.6.1 布尔处理机	35
2.6.2 MCS-51 单片机中布尔处理机的组成	35
2.7 并行 I/O 接口	36
2.7.1 P0 口与 P2 口	36
2.7.2 P1 口与 P3 口	36
2.8 MCS-51 单片机的工作方式	36
2.8.1 复位方式	37
2.8.2 单步执行方式	38

2.8.3 程序执行方式	39
2.8.4 低功耗方式	39
2.8.5 EPROM 编程、检查与擦除方式	41
思考题与习题	43
第3章 80C51 单片机的指令系统	44
3.1 概述	44
3.1.1 程序设计语言和指令	44
3.1.2 指令格式	44
3.2 寻址方式	45
3.2.1 指令系统中使用的常用符号	45
3.2.2 80C51 单片机指令系统的寻址方式	45
3.3 80C51 单片机的指令系统	49
3.3.1 数据传送指令	50
3.3.2 算术运算指令	55
3.3.3 逻辑运算指令	60
3.3.4 控制转移指令	63
3.3.5 位操作(布尔处理)指令	68
3.4 汇编语言程序设计	70
3.4.1 汇编语言及其语句格式	70
3.4.2 汇编语言伪指令	71
3.4.3 汇编语言程序设计的步骤	73
3.4.4 顺序结构程序设计	74
3.4.5 分支程序设计	75
3.4.6 查表程序设计	76
3.4.7 散转程序设计	77
3.4.8 循环程序设计	79
3.4.9 子程序	81
3.4.10 运算程序设计	83
3.4.11 代码转换程序	88
思考题与习题	90
第4章 MCS-51 单片机存储器扩展	94
4.1 8 位数据/地址锁存器 74LS373	94
4.2 地址译码方法	94
4.3 外部程序存储器扩展	97
4.4 外部数据存储器扩展	101
4.5 外部程序/数据共用存储器	103
思考题与习题	104
第5章 输入/输出和中断系统	105
5.1 微机的输入/输出方式	105

5.1.1	无条件传送方式	105
5.1.2	查询传送方式	105
5.1.3	直接存储器存取方式	106
5.2	中断系统概念	106
5.3	MCS-51 中断系统结构	108
5.3.1	中断源与中断请求标志	109
5.3.2	MCS-51 的中断控制	110
5.3.3	中断处理过程	113
5.4	中断系统的初始化及应用	116
5.4.1	中断系统的初始化	116
5.4.2	中断应用举例	116
	思考题与习题	118
第 6 章	80C51 的定时器/计数器	119
6.1	定时器/计数器的结构	119
6.1.1	定时器/计数器的组成	119
6.1.2	定时器/计数器的工作原理	119
6.1.3	定时器/计数器的控制	121
6.2	定时器/计数器的工作方式	122
6.2.1	工作方式 0	123
6.2.2	工作方式 1	123
6.2.3	工作方式 2	124
6.2.4	工作方式 3	125
6.3	定时器/计数器初始化和应用举例	125
6.3.1	定时器/计数器初始化	125
6.3.2	定时器/计数器应用举例	126
	思考题与习题	133
第 7 章	串行通信技术	135
7.1	串行通信基本知识	135
7.1.1	数据通信	135
7.1.2	串行通信的传输方式	135
7.1.3	异步通信和同步通信	135
7.2	串行接口的组成和特性	137
7.2.1	串行口的结构	137
7.2.2	串行口控制器及控制寄存器	138
7.3	串行通信接口的工作方式	140
7.3.1	工作方式 0	140
7.3.2	工作方式 1	142
7.3.3	工作方式 2 和工作方式 3	145
7.4	波特率设计	145

7.4.1	波特率的计算方法	146
7.4.2	波特率的产生	146
7.5	80C51 串行口双机异步通信	147
7.5.1	RS-232C 标准接口总线	148
7.5.2	信号电气特性与电平转换	149
7.5.3	多机通信	150
	思考题与习题	156
第 8 章	并行接口与应用	158
8.1	可编程并行 I/O 扩展接口 8255A	158
8.2	带 RAM 和定时器的可编程并行 I/O 扩展接口 8155A	168
8.3	键盘输入接口电路	173
8.3.1	键盘的工作原理	174
8.3.2	键盘的工作方式	175
8.3.3	89C51 单片机的键盘接口电路	176
8.4	显示器接口电路	179
8.4.1	LED 显示器的组成与工作原理	179
8.4.2	89C51 单片机与 LED 显示器的接口电路	180
	思考题与习题	184
第 9 章	A/D、D/A 转换接口	185
9.1	A/D 转换原理	185
9.2	逐次逼近式 A/D 转换器 ADC0809	187
9.3	89C51 单片机与 ADC0809 的接口方法	188
9.4	D/A 转换的工作原理	193
9.5	8 位 DAC 芯片——DAC0832	193
9.6	89C51 单片机与 DAC0832 的接口	195
	思考题与习题	200
第 10 章	89C51 单片机系统的开发与应用	201
10.1	单片机应用系统的研制过程	201
10.1.1	总体设计	202
10.1.2	硬件设计	202
10.1.3	可靠性设计	203
10.1.4	软件设计	204
10.1.5	系统调试	206
10.2	单片机应用系统中对单片机的监控方法	208
10.2.1	监控芯片 MAX801 /MAX808	209
10.2.2	监控芯片 MAX791	211
10.2.3	单片机系统中的看门狗	213
10.3	单片机控制系统设计	216
10.3.1	计算机控制系统概述	216

10.3.2	温度控制	218
10.3.3	速度控制	219
10.3.4	定时控制	222
10.3.5	定位控制	223
附录 I	ASCII 字符表	226
附录 II	MCS-51 指令表	227
附录 III	MCS-51 系列单片机指令表	232
附录 IV	MCS-51 指令矩阵(汇编/反汇编表)	236
参考文献		237

第 1 章 计算机基础

1.1 概 述

世界上第一台电子计算机诞生于 1946 年 2 月 15 日,它是美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电机系莫克利(J. Mauchly)教授及其同事们研制成功的 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer,电子数值积分和计算机)。ENIAC 采用十进制运算,电路结构十分复杂,使用 18 000 多个电子管,运行时耗电量达 150kW,体积庞大,有 85m³,占地面积 150m²,重 30t,它只能存储 750 条指令,每秒钟只能进行 360 次乘法运算,价值 40 多万美元,ENIAC 的出现标志着人类计算工具进入了一个新的时代,是人类文明发展史中的一个里程碑。

从第一台电子计算机问世至今,不过 50 多年的历史。然而它发展之迅速,普及之广泛,对整个人类社会和科学技术影响之深远,是任何其他学科所不及的。50 多年来,计算机的发展经历了从电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机到大规模和超大规模集成电路(VLSI)计算机这样 4 代的更替,现在的 Pentium 微处理器堪称 Intel 公司的第五代微处理器。随着大规模集成电路技术的不断进步,微型计算机(也称个人计算机,Personal Computer)在办公自动化方面得到广泛应用;另一方面,将微处理器、存储器和外围设备集成到一块芯片上形成的单片机(Single-chip Microcomputer)则在控制领域大显身手。单片机可以装入到各种智能化产品之中,所以又称为嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller)。

1.1.1 单片机的发展历史

在微处理器的发展过程中,人们试图在其芯片中增加存储器、I/O 接口电路、定时器/计数器、UART,甚至 A/D、D/A 转换器等,以提高其功能,并赋予专门的用途,比如数据采集、通信、信号传送与控制等。因此也就产生了各种具有不同功能的微处理器,即为微控制器,亦称为单片机。

单片机的发展可以分为 3 个阶段。

20 世纪 70 年代为单片机发展的初级阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为典型代表,此后相继涌现出不少生产厂家、公司及系列产品。例如 Motorola 公司的 MC6801、6805, Zilog 公司的 Z8 系列, Rockwell 公司的 6500/1 系列等。在一块芯片内含有 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 存储器,这是一种真正的单片机。这个阶段的单片机因受集成电路技术的限制,CPU 指令系统功能相对较弱、存储器容量小、I/O 部件种类和数量少,只能用在比较简单的场合,而且价格相对较高,单片机的应用未引起足够的重视。

20 世纪 80 年代为高性能单片机的发展阶段。以 Intel 公司的 MCS-51、MCS-96

系列单片机为典型代表,随后出现了不少 8 位或 16 位的单片机,例如 Motorola 公司的 MC68HC05, MOSTEK 公司的 68200 以及 NS 公司的 HPC16040 等。这些单片机的 CPU 和指令系统功能加强了,存储器容量显著增加,外围 I/O 部件品种多、数量大,有的包含了 A/D 之类的特殊 I/O 部件。由于单片机结构紧凑,体积小,功能强,大量用于智能仪器仪表、前端控制设备、家用电器之中,因此也称为“嵌入式”芯片。

20 世纪 90 年代至今为单片机的高速发展阶段。世界上著名的半导体厂商都重视新型单片机的研制、生产和推广。单片机性能不断地完善,性能价格比显著提高,种类和型号快速增加。从性能和用途上看,单片机正朝着面向多层次用户的多品种多规格方向发展,哪一个应用领域前景广阔,就有这个领域的特殊单片机出现。

随着自动控制、网络通信、家用电器以及多媒体技术的发展,尤其是手机的大量使用,猛烈地冲击着单片机市场,使“嵌入式”芯片作为一种新的技术迅速发展。其发展可归结为以下几个方面。

1. 增加字长,提高数据精度和处理的速度

早期单片机的字长是 8 位,以后产生了 16 位、24 位和 32 位的单片机。但是在多数应用场合,8 位数据可以满足需要。因此,8 位单片机与 16 位、24 位、32 位单片机一样,仍在体系结构、多功能部件集成、流水线与并行处理技术、制造工艺、时钟频率等方面竞相发展。

2. 改进制作工艺,提高单片机的整体性能

随着集成电路工艺的发展,单片机的制作由 MOS 型发展成 CMOS、HCMOS 型,提高了芯片的集成度和器件的速度,降低了电压和功耗;内部采用大容量 Flash 快闪存储器,实现了在系统中烧录程序(ISP)和在应用中烧录程序(IAP)等技术。比如,Philips 公司的 P89C51RC2/P89C51RD2 具有 32KB/64KB 的 Flash 快闪存储器,且集成有引导和擦除/烧录程序,支持 ISP 和 IAP 技术;外部时钟频率提高到 33MHz~40MHz,运算速度达到 50MIPS(兆条指令每秒)~100MIPS。

3. 由复杂指令集 CISC 转向简单指令集 RISC 技术

早期的 MCS-51 单片机采用的是 CISC (Complex Instruction Set Computer)技术,随着 RISC(Reduced Instruction Set Computer)技术的发展,单片机也采用了这一技术,简化了体系结构,并提高了 CPU 的速度,比如 Microchip 公司的 PIC12F $\times\times\times$ /PIC16F $\times\times\times$ /PIC17F $\times\times\times$ /PIC18F $\times\times\times$ 微控制器等。

4. 多功能模块集成技术,使一块“嵌入式”芯片具有多种功能

在新型单片机中,除了 RAM/ROM、寄存器文件、定时器/计数器、并/串行接口电路、V/F 变换器、A/D 与 D/A 电路之外,已有许多单片机采用双 CPU 或者多 CPU 结构,增加锁相环路、USB、CAN、ISSC、I²C 等总线接口,提供支持 TCP/IP 协议的通信接口。一则提高单片机数值计算、数据采集与处理的能力;二则提供外部数据传送和与通信网络连接的能力。比如美国 Echelon 公司的 Neuron 3150,内置 3 个 CPU。其中一个用于介质访问,一个用于数据处理器,另一个作为网络处理器。又如 Philips 公司的 P89C66 $\times$,提供 I²C 总线传送方式。

5. 微处理器与 DSP 技术结合

将微处理器与 DSP(Digital Signal Processor)技术结合,适时解决网络与多媒体技术所需的高速实时处理能力。比如我国台湾凌阳科技公司推出的 μ' nsP 系列单片机,其 16

位机中增添了 DSP 功能,具有话音编码与解码器,内置在线仿真电路 ICE(In Circuit Emulator)。又如 Motorola 公司推出了 Motorola DSP 型单片机,其中在 DSP56800 系列数字信号处理器中集成了通用 I/O 模块 GPIO、异步串行通信模块 SCI、同步串行外设模块 SPI、同步串行通信模块 SSI、控制器局域网模块 CAN 2.0A/B、多路 A/D 模块、支持各类电机控制的多路脉冲宽度调制 PWM 模块以及定时器(Timer)等,设置 JTAG 和在线仿真 OnEC 调试接口;关键部件采用双哈佛结构,支持并行处理;其中 DSP56800E 的时钟频率达到 120MHz,运算速度达到 120MIPS。

6. 融入高级语言的编译程序

在内部融入高级语言的编译程序,支持应用程序接口 API 的使用,支持 C 语言及硬件描述语言 VHDL 等高级语言的使用;内置在线仿真电路 ICE,支持在线编程写入,即 ISP 和 IAP 技术等。

7. 低电压、宽电压、低功耗

新型单片机追求低电压、宽电压、低功耗,改进了制作工艺,降低了内部电压和功耗,提供宽电压使用方式,以支持不同场合的需要。比如瑞典 Xernic 公司的 XE8301,使用电压为 1.2V~5.5V,当运算速度为 1MIPS 时,电流为 200 μ A;在待机状态下,电流仅为 1 μ A。

1.1.2 单片机的应用领域和应用方式

由于单片机具有体积小、质量轻、价格便宜、功耗低、控制功能强及运算速度快等特点,因而在国民经济建设、军事及家用电器等各个领域均得到了广泛的应用,对各个行业的技术改造和产品的更新换代起到了重要的推动作用。

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机广泛地应用于实验室、交通运输工具、计量等各种仪器仪表之中,使仪器仪表智能化,提高了它们的测量精度,加强了其功能,简化了仪器仪表的结构,使仪器仪表便于使用、维护和改进。如电度表校验仪,电阻、电容、电感测量仪,船舶航行状态记录仪,烟叶水分测试器,智能超声波测厚仪等。

2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品。如微机控制的铣床、车床、钻床、磨床等。单片机的出现促进了机电一体化,它作为机电产品中的控制器,能充分发挥它的体积小、可靠性高、功能强、安装方便等优点,大大强化了机器的功能,提高了机器的自动化、智能化程度。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机也广泛地用于各种实时控制系统中,如对工业上各种窑炉的温度、酸度、化学成分的控制和测量。将测量技术、自动控制技术和单片机技术相结合,可以充分发挥数据处理和实时控制功能,使系统工作于最佳状态,提高系统的生产效率和产品的质量。在航空航天、通信等各种实时控制系统中都可以用单片机作为控制器。

4. 单片机在分布式多机系统中的应用

分布式多机系统具有功能强、可靠性高的特点。在比较复杂的系统中,都采用分布式

多机系统。系统中有若干台功能各异的计算机,各自完成特定的任务,它们又通过通信相互联系、协调工作。单片机在这种多机系统中,往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时的测量和控制。高档的单片机多机通信(并行或串行)功能很强,它们在分布式多机系统中将发挥很大的作用。

5. 单片机在家用电器等消费类领域中的应用

家用电器等消费类领域的产品特点量多面广。单片机应用到消费类产品之中,能大大提高它们的性能价格比及市场竞争力,因而受到用户的青睐。目前家用电器几乎都是单片机控制的电脑产品,如空调、冰箱、洗衣机、微波炉、彩电、音响、家庭报警器、电子宠物等。

如今,“嵌入式”单片机已广泛用于数值计算与处理、自动化控制、智能仪器仪表、空间探测、导弹制导、机器人、网络通信、视频电话、家用电器以及各种多媒体技术领域。以DSP单片机为内核的产品已经难以尽数,比如Web可视电话、Web电视游戏机、数字摄像机、数码相机、移动电话、手持挂网影碟机、DVD以及电视会议设备等。

1.2 计算机中数据的表示

1.2.1 计算机中的数制

计算机是以电子器件为核心,以电子器件的状态表示数的。电子器件以两种不同的状态最为稳定可靠,它输出或高电平或低电平,用这个高电平或低电平表示1位二进制数。因此在计算中,数全部是用二进制表示的。

1. 二进制数

一个二进制数具有两个基本特征。

(1) 具有两个不同的数字符号,即0和1。

(2) 逢2进位。

二进制数由排列起来的0和1组成,各位代表的数值不同,从位序号为0向左数,依次代表的数值为1、2、4、8、16……。例如:

D_3	D_2	D_1	D_0
1	1	0	1

D_0 位的1代表1, D_1 位的1代表2, D_2 位的1代表4, D_3 位的1代表8。每一位有一个基值与之相对应,这个基值称为位权。整数部分位权为2的正次幂,若为小数,则小数点后面的数位的位权为2的负次幂。例如:

D_{-1}	D_{-2}	D_{-3}	D_{-4}
0.1	1	0	1

D_{-1} 位代表 $2^{-1}=0.5$, D_{-2} 位代表 $2^{-2}=0.25$, D_{-4} 位代表 $2^{-4}=0.0625$ 。一个二进制数所表示的实际值可用以下公式计算:

$$\sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 2^i$$

式中: n 是整数位数; m 是小数位数; D_i 是二进制数的两个数符0或1。

例如,计算1101.1101的实际值:

$$(1101.1101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} = (13.8125)_{10}$$

2. 十六进制数

在计算机中,最常用十六进制数。一个十六进制数有两个基本特点。

- (1) 具有 16 个数字符号,采用 0~9 和 A~F。
- (2) 逢 16 进位。

十六进制数是由排列起来的 0~9 和 A~F 组成,每一个数位有一个权与之对应,小数点左边各数位的权为 16 的正次幂,小数点右边各数位的权是 16 的负次幂。
一个十六进制数表示的实际值可用下列公式计算:

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

例如:

$$(FF0E)_{16} = 15 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = (65294)_{10}$$

$$(A8.6C)_{16} = 10 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2} = \left(168 \frac{27}{64}\right)_{10}$$

但是,在机器中,数值仍以二进制表示,这是由物理器件本身决定的。之所以用十六进制数表示,是因为 4 位二进制数可用 1 位十六进制数表示,这样人们看起来更方便、易懂。表 1-1 列出了二进制数与十六进制数、十进制数的对应关系。

为了区分数的进制,常用 B 表示二进制数,用 H 表示十六进制数,D 表示十进制数。例如: $(1101)_2$ 可表示为 1011B; $(1011)_{16}$ 可表示为 1011H; $(1011)_{10}$ 可表示为 1011D。

表 1-1 二进制、十六进制、十进制对照表

二进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	十六进制数	十进制数
0000	0	0	1000	8	8
0001	1	1	1001	9	9
0010	2	2	1010	A	10
0011	3	3	1011	B	11
0100	4	4	1100	C	12
0101	5	5	1101	D	13
0110	6	6	1110	E	14
0111	7	7	1111	F	15

3. 数制的转换

1) 二进制与十六进制的转换

将二进制数转成十六进制数相当方便。整数部分从小数点向左,每 4 位一分,组成 1 位十六进制数,不足 4 位的前面补 0,小数部分由小数点向右,每 4 位一分,不足 4 位的后面补 0,每 4 位用相应十六进制数代替,即转换成十六进制数。例如:

$$(1101011110.1101010111)_2$$

可转换为

$$\begin{array}{cccccc} 0011 & 0101 & 1110. & 1101 & 0101 & 1100 \\ 3 & 5 & E. & D & 5 & C \end{array}$$

转换结果为 $(35E.D5C)_{16}$

若将十六进制数转换成二进制数,则只要把每 1 位十六进制数用相应的 4 位二进制数代替即可。例如:

$(8BC.7E)_{16}$

可转换为

$(1000\ 1011\ 1100.0111\ 1110)_2$

2) 二进制与十进制转换

将二进制数转换成十进制数的方法是借用公式

$$\sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 2^i$$

即将二进制数按权求和。这在前面已有实例,这里不再举例说明。

下面介绍将十进制数转换成二进制数的方法。在转换时,对整数部分和小数部分要分别对待,整数部分的转换方法是除 2 取余法,小数部分的转换方法是乘 2 取整法。

例如,将十进制数 206 转换成二进制数:

余数			
2	206		0 低位
2	103		1
2	51		1
2	25		1
2	12		0
2	6		0
2	3		1
2	1		1 高位

转换结果为 $(1100\ 1110)_2$

采取的方法是用 2 连续除以十进制数,直到商为 0 时结束,最先得到的余数为二进制数的最低位,最后得到的余数为二进制数的最高位。

小数部分的转换是用 2 去乘它,取乘积的整数部分为转换后的二进制小数的最高位,再用 2 去乘上一步乘积的小数部分,再取整数部分为二进制小数低一位的数字。重复乘 2 直到积为零或已达到二进制小数位数的要求,即转换过程完成。

例如,将 (0.385) 转换成二进制小数:

整数		0.385	$\times 2$
高位	0.	77	$\times 2$
	1.	54	$\times 2$
	1.	08	$\times 2$
	0.	16	$\times 2$
	0.	32	$\times 2$
	0.	64	$\times 2$
低位	1.	28	

转换结果为 $(0.0110001)_2$

最后的积仍不为零,但只要达到要求的位数也就可以了;因为大部分小数是永远也不

会满足乘积为零的。

若是既有整数又有小数的十进制数,则先分别进行转换,再把结果合起来就得到最后结果。

例如,将十进制数 206.385 转成二进制数。前面已经做过:

$$(206)_{10} = (11001110)_2, (0.385)_{10} = (0.0110001)_2$$

那么 $(206.385)_{10} = (11001110.0110001)_2$

4. 二进制数的运算

1) 加法运算

二进制加法运算规则为

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0 \text{ (并向高一位产生进位, 结果为 10)}$$

例如:

$$\begin{array}{r} 1011 \\ + 1110 \\ \hline 11001 \end{array}$$

2) 减法运算

二进制减法运算规则为

$$0 - 0 = 0$$

$$0 - 1 = 1 \text{ (向高位借位)}$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

例如:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ - 1011 \\ \hline 0010 \end{array}$$

3) 乘法运算

二进制乘法运算规则为

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

例如:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ \times 1011 \\ \hline 1101 \\ 1101 \\ 0000 \\ + 1101 \\ \hline 10001111 \end{array}$$

4) 除法运算

二进制除法与十进制除法类似,由上商、减法逐步完成。

例如:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 1011 \overline{) 10001111} \\ \underline{- 1011} \\ 1101 \\ \underline{- 1011} \\ 1011 \\ \underline{- 1011} \\ 0 \end{array}$$

1.2.2 计算机中数据的表示方法

在计算机中能直接表示和使用的数据有数值数据和符号数据两大类。数值数据用来表示数量的大小,并且还带有表示数值正负的符号位。符号数据又称非数值数据,用于表示一些符号标记,包括英文大小写字母、数字符号 0~9 等,汉字和图形信息也属于符号数据。由于计算机中任何数据都采用二进制编码形式,因此讨论数据的表示方法,就是讨论它们在计算机中的组成格式和编码规则。

1. 带符号数的表示方法

在计算机中,数值有大小,但也会有正负,用什么方法表示数值的符号呢?通常用一个数的最高位定为符号位。若字长为 8 位,则 D_7 为符号位, $D_6 \sim D_0$ 为数字位。符号位用 0 表示正,用 1 表示负。例如:

$$X = (01011011)_2 = +91$$

$$X = (11011011)_2 = -91$$

这样连同一个符号位在一起作为一个数,就称为机器数,而它的数值称为机器数的真值。为了运算方便,在机器中带符号数有三种表示方法——原码、反码和补码。

1) 原码

按上所述,正数的符号位用 0 表示,负数的符号位用 1 表示,这种表示方法称为原码。

例如:

$$X = +100 \quad [X]_{\text{原}} = 0 \ 1100100$$

$$Y = -100 \quad [Y]_{\text{原}} = 1 \ 1100100$$

其中最高位为符号位,后面 7 位为数值,在原码表示中, +100 和 -100 数值位相同,符号位不同。

原码表示简单易懂,但若两个异号数相加就要做减法,为了把减法运算转换为加法运算,就又引进了反码和补码。

2) 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。

例如:

$$[+66]_{\text{反}} = 0 \ 1000010$$