



中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会“十三五”规划教材

单片机原理及接口技术

DANPIANJI YUANLI JI JIEKOU JISHU

曲明哲 张艳鹏 主 编



哈尔滨工程大学出版社



中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会“十三五”规划教材

单片机原理及接口技术

DANPIANJI YUANLI JI JIEKOU JISHU

曲明哲 张艳鹏 主 编

张立勋 主 审

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是作者经多年单片机教学、教材编写及项目开发等方面实践,结合设计实例进行编写的,内容深入浅出,系统全面地介绍了 MCS-51 单片机的原理及其应用系统设计方法。全书共分 9 章,主要内容包括单片机技术基础、MCS-51 系列单片机硬件结构、MCS-51 系列单片机的指令系统、汇编语言程序设计、MCS-51 单片机中断系统与定时/计数器、MCS-51 单片机的串行口及应用、51 系列单片机的接口技术、串行总线技术、80C51 单片机的 C 语言程序设计等。本书结构合理、内容系统、重点突出,且紧密结合科研实际,可实践性强。适用于作为电子信息工程、通信工程及电气工程及其自动化专业教材使用,也可供从事相关专业技术人员作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及接口技术 / 曲明哲, 张艳鹏主编. --
哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2016.7

ISBN 978-7-5661-1263-7

I. ①单… II. ①曲… ②张… III. ①单片微型计算机-理论 ②单片微型计算机-接口技术 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 188508 号

选题策划 吴振雷

责任编辑 张忠远 周一瞳

封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 黑龙江龙江传媒有限责任公司

开 本 787mm × 1 092mm 1/16

印 张 14.25

字 数 383 千字

版 次 2016 年 7 月第 1 版

印 次 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会 “十三五”规划教材编委会

主 任:

吕菁华 (中国高等学校电子教育学会副理事长、中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会理事长、哈尔滨师范大学教授)
张 玲 (哈尔滨工程大学出版社社长、总编辑)

副主任:

牟洪臣 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长兼秘书长)
于长兴 (绥化学院电气工程学院院长)
张艳鹏 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长、绥化学院电气工程学院副院长)
徐 权 (大庆师范学院机电工程学院院长、教授)
邱 敏 (黑河学院理学院院长、教授)
张梅恒 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长、牡丹江师范学院教授)
王少华 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长,齐齐哈尔大学理学院副院长)
牟海维 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长,东北石油大学电子科学学院院长、教授)
李林君 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长、黑龙江工程学院教授)
于险波 (哈尔滨工程大学出版社副社长)

委员(按姓氏笔画排序):

于长兴	于险波	王少华	王玉玲	王雪飞	王福刚	付兴烨
卢振生	白 玉	白 龙	刘 铭	吕菁华	吕鹏举	孙春风
成宝芝	曲明哲	牟洪臣	牟海维	齐凤河	张 玲	张世明
张晓林	张艳鹏	张梅恒	张博洋	李怀亮	李林君	杨 倩
杨景昱	邱 敏	陈春雨	林 芳	唐红霞	徐 权	徐晓雨

前 言

单片机以其低成本、小体积、高可靠性、高性能价格比的特点,在工业、交通、智能办公、自动设备、智能家电、智能仪器仪表等诸多领域得到了极为广泛的应用。因此,国内不同层次学校,有许多专业都开设了单片机技术相关的课程。MCS-51 单片机是世界上最著名的 CPU 生产厂商 Intel 公司设计的单片机,虽然已经问世了几十年,但目前基于 MCS-51 内核结构的单片机仍有很大的市场。世界著名的半导体公司 TI、Atmel、NXP 公司等目前仍在生产基于 MCS-51 内核结构多种类型的单片机。单片机是单片微型计算机的简称,掌握了 MCS-51 单片机的工作原理及其各种并行、串行接口技术,有助于学生理解微型计算机的工作原理,也为学习 AVR、PIC 及其他类型的单片机打下良好的基础。MCS-51 是最适合用作教学的单片机之一。

汇编语言编程具有速度快、代码短等优点,在个别实时性要求很高的特殊场合,只能用汇编语言编程才能满足要求。用汇编语言很容易编写出各种精确的延时程序,有助于学生理解和掌握各种串行接口的时序。汇编语言与硬件联系紧密,使用汇编语言编程时某个地址中存放的内容程序员一清二楚,有利于培养学生的硬件意识。目前大多数学生都学过 C 语言,懂得了汇编语言,再转为高级语言(C51)编程是一件轻而易举的事。因此,本书仍采用汇编语言进行讲解。本书根据编者多年来在单片机教学、教材编写及项目开发等方面的实践经验,结合设计实例,深入浅出、系统全面地介绍了 MCS-51 单片机的原理及其应用系统设计方法。本书是在总结多年教学和科研工作的经验及部分科研成果,吸收国内外的许多先进技术及应用成果、许多优秀论著和教材的编写方法和应用实例的基础上编写而成,以期培养学生进行单片机应用系统设计的专业技术能力,为其今后的科研开发和实际工作奠定技术基础。

全书共分 9 章。主要内容包括:单片机技术基础、MCS-51 系列单片机硬件结构、MCS-51 系列单片机的指令系统、汇编语言程序设计、MCS-51 单片机中断系统与定时/计

数器、MCS-51 单片机的串行口及应用、51 系列单片机的接口技术、串行总线技术、80C51 单片机的 C 语言程序设计等。本书结构合理、内容系统、重点突出,且紧密结合科研实际,可实践性强。章节安排有利于授课教师根据不同教学要求进行组合,以满足不同的教学课程需要。

本书由曲明哲、张艳鹏主编。其中,曲明哲编写第 1 章至第 5 章,张艳鹏编写第 6 章至第 9 章,张博阳参与了本书图稿的绘制、文字校核等工作,在此谨致谢意。此外,还衷心感谢书后所附参考文献的各位作者。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者不吝指正。

编 者

2016 年 4 月

目 录

第 1 章 单片机技术基础	1
1.1 单片机与嵌入式系统概述	1
1.2 典型单片机产品的基本特性	3
1.3 单片机系统中使用的数制与编码	4
1.4 思考题与习题	10
实验一 Keil C51 的使用	10
第 2 章 MCS-51 系列单片机硬件结构	19
2.1 MCS-51 系列单片机概述	19
2.2 MCS-51 单片机的基本硬件结构	20
2.3 MCS-51 单片机的 CPU	23
2.4 MCS-51 单片机的存储器组织	27
2.5 MCS-51 单片机的并口	32
2.6 思考题与习题	36
实验二 Proteus 入门及 I/O 口控制	36
第 3 章 51 系列单片机的指令系统	48
3.1 汇编语言	48
3.2 寻址方式	50
3.3 指令系统及应用	55
3.4 思考题与习题	68
实验三 基本指令认知实验	70
第 4 章 汇编语言程序设计	73
4.1 程序设计的方法和技巧	73
4.2 常用伪指令	77
4.3 基本程序结构	79
4.4 子程序设计	83
4.5 常用编程示例	87
4.6 思考题与习题	91
实验四 查表指令实验	92

第5章 MCS-51 单片机中断系统与定时/计数器	94
5.1 中断的概念	94
5.2 单片机中断系统的控制	97
5.3 MCS-51 单片机的中断过程及应用示例	103
5.4 MCS-51 单片机的定时/计数器	106
5.5 定时/计数器应用举例	113
5.6 思考题与习题	115
实验五 中断系统应用实验	116
实验六 Proteus 仿真秒表实验	118
第6章 MCS-51 单片机的串行口及应用	121
6.1 串行通信基础知识	121
6.2 串行接口的结构与控制	128
6.3 串行口的工作方式	130
6.4 串行口的波特率设定与初始化	133
6.5 串行通信应用举例	135
6.6 思考题与习题	138
实验七 Proteus 仿真串行通信实验	139
第7章 51 系列单片机的接口技术	142
7.1 键盘接口技术	142
7.2 显示器接口技术	146
7.3 D/A 转换器与单片机接口技术	157
7.4 A/D 转换器与单片机接口技术	162
7.5 思考题与习题	166
实验八 Proteus 仿真 DAC0832 数/模转换	167
实验九 Proteus 仿真 ADC0809 模/数转换	169
第8章 串行总线技术	172
8.1 I ² C 总线接口	172
8.2 SPI 总线技术	181
8.3 1-Wire 总线	184
8.4 思考题与习题	185
实验十 Proteus 仿真 I ² C 存储器实验	186

第 9 章 80C51 单片机的 C 语言程序设计	191
9.1 单片机 C 语言概述	191
9.2 C51 的数据类型与运算	195
9.3 C51 流程控制语句	200
9.4 C51 的指针类型	202
9.5 C51 的函数	203
9.6 C51 编程实例	204
9.7 思考题与习题	205
实验十一 Proteus 仿真 DS18B20 温度传感器实验	205
附录 51 系列单片机指令表	212
参考文献	218

第1章 单片机技术基础

本章从单片机的起源开始,依次分别对单片机的特点,应用领域,国内常见的单片机品牌、型号、嵌入式系统的概念以及 ARM 单片机技术进行介绍,重点讲解单片机系统常用的数制和编码,最后,介绍了 Atmel 公司研制的 AT89S51 单片机的特点。

1.1 单片机与嵌入式系统概述

1.1.1 单片机的起源与发展

1946 年,人类发明了电子数字计算机,在其诞生最初的 20 多年中,计算机一直是供养在机房中的大型昂贵设备,其主要作用是进行数值计算。随着半导体技术,特别是集成电路技术的发展,20 世纪 70 年代初研制出了微处理器,以微处理器为核心的微型计算机具有体积小、成本低以及可靠性高等特点。控制专业人员将微型计算机配上一些硬件接口电路嵌入到大型、复杂的对象体系中,实现对复杂系统的监测或智能化控制,劳动生产率得到了大幅度提高。从此,计算机便走出机房,进入了自动化控制领域。计算机技术从 20 世纪 70 年代开始,向着通用和专用计算机系统这两个不同的方向发展。

1. 通用计算机系统

通用计算机系统的主要任务是进行数值计算或数据处理等工作,主要的技术发展方向为总线速度越来越快,存储容量越来越大。其具体表现为:通用计算机的 CPU 从 8086、80286、80386、80486、80586 等一直发展到今天的多核时代,其运算速度、存储器容量(RAM 和硬盘)等指标提高了数千倍,操作系统也由原来的单任务、单用户 DOS 变为目前基于图形界面的 Windows 等。特别是 Internet 的发明,使得通用计算机变成了现代人类工作和生活中不可缺少的工具。

2. 专用计算机系统

专用计算机系统的主要任务是对被控制对象进行智能化控制。由于众多的被控对象,如家用电器、仪器仪表、工控单元等体积很小,根本无法嵌入通用计算机系统,因此专用计算机系统就向着小体积、低功耗、单芯片化方向发展。把计算机的 CPU、存储器(RAM、ROM)以及接口电路等集成到一个芯片上,就出现了单片微型计算机,简称为“单片机”。第一代单片机诞生于 20 世纪 70 年代,典型代表有 Intel 公司的 8048、Motorola 公司的 6801 以及 Zilog 公司的 Z8 等。20 世纪 80 年代初,Intel 公司在 8048 的基础上成功地研制了 8051 单片机,从此各种品牌和型号的单片机如雨后春笋般涌现出来,进入了单片机发展的春天。

单片机的发展大致可分为三个阶段:第一阶段称为初级阶段,这个阶段的单片机被称为 SCM(Single Chip Microcomputer),主要探索单片机在工业领域的应用;第二阶段为完善阶段,主要的技术特点是不断扩展满足各种对象控制要求的外围接口电路,如在单片机内部加入了 A/D、WDT、PWM 以及各种串行接口等电路,突显其对象的智能化控制能力,被称为“微控制单元”或 MCU(Micro Controller Unit);第三阶段为系统芯片阶段,这个阶段的单片

机常被称为 SOC (System On Chip), 该阶段的单片机技术已发展到可以将所有的硬件和软件都集成到一个芯片中, SOC 有时又被称为“片上系统”。

1.1.2 单片机的特点与应用领域

单片机具有体积小、成本低、功能强、功耗低、有很强的抗干扰能力以及易于实现分布式控制等特点, 应用领域非常广泛。单片机的应用领域主要有以下几个方面:

- ①工业控制, 如电机控制、工业机器人控制、过程控制和数字机床控制等;
- ②民用方面, 如各类信息家电、电子玩具、电子字典、手机、数码相机以及安防系统等;
- ③智能仪器仪表, 如测量电压、电流、功率、频率、湿度、温度、流量、压力等物理量的各种仪器仪表等;
- ④医疗器械, 如呼吸机、数字血压计、各种分析仪、监护仪、病床呼叫系统等。

单片机技术是 21 世纪最为活跃的新一代电子应用技术, 随着半导体技术的发展, 单片机的应用必将进一步渗透到生活的每一个领域。因此, 学习单片机的原理, 掌握单片机应用系统的设计与开发技术具有非常重要的意义。

1.1.3 嵌入式系统

嵌入式系统 (Embedded System, ES) 是近年来一个非常时髦的词汇, 究竟什么是嵌入式系统, 目前还没有一个精确的定义。按照电气和电子工程师协会 (IEEE) 的定义, 嵌入式系统就是“控制、监视或者辅助操作机器或装置的设备”。这个定义主要是从应用出发, 把嵌入式系统定义为软件和硬件的综合体。目前国内一个普遍被认同的关于嵌入式系统的定义是: “以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软件硬件可裁剪, 满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统”。嵌入式系统有三个基本要素, 即嵌入性、专用性和计算机系统。嵌入性是指系统必须嵌入到控制对象中, 满足“体积、可靠性、成本”等环境要求; 专用性是指系统的软件和硬件可裁剪到能满足对某一特定对象控制要求的最小配置; 计算机系统是指嵌入式系统实际上仍是一种计算机系统, 为了能满足对象控制的要求, 这种计算机系统还配置有与对象系统相适应的接口电路。关于嵌入式系统, 国内有两种观点: 一种观点认为基于单片机、DSP 等的应用系统都可被称为嵌入式系统; 另一种观点认为含有高档单片机以及嵌入式操作系统的应用系统才可被称为嵌入式系统。不论哪种观点, 均不会影响单片机的应用。

嵌入式系统有着非常广泛的应用领域, 它几乎无所不在, 除了航空航天、军用、医疗、通信以及各种工业控制外, 仅就居民家庭而言, 洗衣机、电视机、空调器、冰箱、微波炉、数码相机、手机以及汽车等无一例外地包含了嵌入式技术。一台通用计算机系统显的显卡、硬盘、键盘、鼠标、U 盘以及显示器、打印机等都是一个完整的嵌入式系统。Internet 的发明, 对嵌入式系统的发展起到了巨大的推动作用。目前无论是在数量上还是在规模上, 嵌入式应用系统都已远远超过了 PC (Personal Computer)。随着物联网技术的发展, 各种嵌入式系统的应用空间会变得更加广阔。

1.2 典型单片机产品的基本特性

目前,世界上生产的各类单片机有数千种,按字长可分为4位、8位、16位、32位、64位等,国内目前和曾经比较流行的单片机主要有以下几种:

- ①Intel 公司 MCS-51, MCS-96 系列单片机;
- ②Motorola 公司的 MC68 系列单片机;
- ③Atmel 公司的 AT89, AVR 系列单片机;
- ④Microchip 公司 PIC 系列单片机;
- ⑤NXP 公司设计生产的各类单片机;
- ⑥TI 公司 MSP430 单片机;
- ⑦宏晶公司的 STC 系列单片机。

1.2.1 Intel 系列单片机

Intel 家族的单片机是最早进入国内的单片机之一,曾经普及率很高,主要有 MCS-51, MCS-251, MCS-96, MCS-296 等。

MCS-51 系列单片机是一种高性能的8位单片机,使用标准 MCS-51 单片机的体系结构和指令系统,典型代表有 80C31, 80C51, 87C51。80C31 是 Intel 公司 MCS-51 系列单片机中最基本的产品,内置 CPU、128 字节内部数据存储器(RAM)、32 个双向输入/输出(I/O)口、2 个 16 位定时/计数器、5 个中断源、两级中断结构、一个全双工的串行通信接口(UART)以及片内时钟振荡电路等。MCS-51 系列单片机之间的主要区别是 80C31 芯片内无程序存储器,80C51 芯片内含有 4 kB ROM, 87C51 芯片内含有 4 kB EPROM。

MCS-96 系列单片机为 16 位机,典型代表有以下几种:

- ①高速系列单片机,如 8XC196KB, 8XC196KC, 8XC196KD 等;
- ②马达控制系列单片机,如 8XC196MC, 8XC196MH, 8XC196MD 等;
- ③网络控制系列单片机(有 CAN 总线接口),如 TN87C196CA, TN87C196CA 等。

Intel 公司是最著名的 CPU 设计厂商,它目前主要生产各类高档 CPU, MCS-51 系列单片机目前已停产。

1.2.2 Atmel 系列单片机

Atmel 是世界上著名的半导体制造公司,它的 EEPROM 和 Flash 技术领先全球,含有 EEPROM 及 Flash 存储器是 Atmel 公司产品的典型特色之一。Atmel 单片机主要有 8051 体系结构单片机、AVR 单片机和 ARM 单片机三个系列。

1. 8051 体系结构单片机(89 系列)

8051 体系结构的单片机与 MCS-51 完全兼容,由于其中含有 Flash,所以目前已经完全取代了传统的 MCS-51 单片机成为主导机型。其典型代表有以下几种:

- ①AT89C1051/2051, AT89C51/52/55;
- ②AT89LV51/52/55 等(Reprogrammable Flash, 低电压型);
- ③AT89S51/52/53, AT89LSV51/52/53 等(In-System Programmable Flash, ISP Flash);
- ④AT89C513x(含有 USB 接口的 MCU);

⑤AT89C51CC0x(含有CAN总线接口的MCU);

⑥AT83C512x(Smart Card Reader的MCU)。

2. AVR 单片机(90 系列)

Atmel公司的AVR系列单片机是一种使用RISC(Reduced Instruction Set Computer)的8位单片机,采用哈佛结构,即程序存储器和数据存储器分别有自己独立的总线,每个时钟周期执行一条指令,速度快、功能强,目前国内比较流行。AVR单片机的典型代表有以下两种:

①Mega AVR系列单片机,如ATMega8/16/32/64等;

②Tiny AVR系列单片机,如ATtiny11/12/13/26/28等。

3. ARM 单片机(91 系列)

Atmel公司的91系列微控制器是基于ARM7的16/32位微处理器,它的功耗很低,工作寄存器多,特别适用于实时控制。采用基于先进微控制器总线结构(Advanced Micro-controller Bus Architecture)的模块化设计方法,具有速度快、性价比高等优点。AT91系列微控制器有5个子系列,分别是AT91X40,AT91X43,AT91X63,AT91X42和AT91X55。

1.2.3 其他系列单片机

PIC系列单片机是美国Microchip公司推出的产品,它也是基于RISC结构的MCU,采用哈佛结构,具有高速度、宽电压、低功耗、大电流LCD驱动能力等优点。PIC单片机特别适合用于家电控制、通信、智能仪器、医疗器械、汽车电子等领域,目前国内也有一定的市场。其产品主要有5个子系列,分别是PIC12C,PIC16C,PIC16F,PIC17C和PIC18C。

NXP半导体公司的前身是PHILIPS公司,它的单片机具有功耗低、宽电压、实时性好等优点,广泛应用于各种嵌入式产品中,在国内有一定的市场。LPC700/900系列单片机的工作速度分别是MCS-51单片机的2或6倍。NXP也设计和生产ARM系列的单片机,主要系列包括Cortex-M0/3/4,ARM7和ARM9等。

TI公司的MSP430单片机是一个16位、RISC结构和超低功耗的混合型单片机,具有非常丰富的外围模块,如WDT、Timer、双串行口、硬件乘法器、LCD驱动模块、ADC、I2C、PWM、DMA以及端口P1-P6等。

宏晶公司是国内的单片机设计和生产制造商,其设计的STC系列单片机与MCS-51兼容,有很强的抗干扰能力,在国内有一定的应用市场。

目前国内还有很多其他厂商生产的单片机,如台湾Winbond公司的WD77/58系列单片机、AD公司的ADuC8xx、Microchip全资子公司SST(Silicon Storage Technology)设计的SST89XRC/RD系列单片机等。

1.3 单片机系统中使用的数制与编码

大家最熟悉的数制是十进制数,它有0~9十个基本的数码,逢10进1。如果希望用计算机帮助人们进行计数和计算,那么如何让计算机识别数字呢?通过数字电路课程的学习大家知道,如果在数字电路中可以存储“0”和“1”,建立在数字电路基础上的计算机就能够记忆和识别“0”和“1”。由“0”和“1”构成了另外一种计数制,称为二进制数。但是二进制数在表示较大的数时既冗长又难以记忆,因此在计算机中通常使用十六进制数。这样,一

个数值就能够用不同的进制数表示。此外,计算机中的数据在输入/输出的形式上必须与人们日常使用的十进制数一致,所以在计算机中就有多种进制数及由此而引出的相关编码。

1.3.1 十进制、二进制与十六进制计数方法

单片机系统中常用的数制有十进制、二进制和十六进制计数方式。数制所有数码的个数称为“基”,数字每一位所代表的值称为“权”。

1. 十进制(Decimal)

十进制计数制是生活中最常见的计数方式,用数码0~9表示,它是按照“逢10进1”的原则进行计数,数字所处的位置不同,代表的数的大小也不同。十进制数的权是以10为底的幂,每一位上的数字与该位的权的乘积表示该位数值的大小。任何一个十进制数 N_D 可表示为

$$N_D = d_{n-1} \times 10^{n-1} + d_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + d_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + d_{-m} \times 10^{-m}$$

例如

$$1\ 643.21 = 1 \times 10^3 + 6 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$$

2. 二进制(Binary)

二进制计数制是按照“逢2进1”的原则进行计数的,用数码0和1表示。二进制数的权是以2为底的幂。任何一个二进制数 N_B 可表示为

$$N_B = b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m}$$

例如

$$1\ 100.101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

3. 十六进制数(Hex Decimal)

十六进制是按“逢16进1”的原则进行计数,用数码0~9及A~F来表示。十六进制数的权是以16为底的幂。任何一个十六进制数 N_H 可表示为

$$N_H = h_{n-1} \times 16^{n-1} + h_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + h_1 \times 16^1 + h_0 \times 16^0 + h_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + h_{-m} \times 16^{-m}$$

h_i 为0~9及A~F中的16个数码之一。

例如

$$7CB1.3D = 7 \times 16^3 + C \times 16^2 + B \times 16^1 + 1 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1} + D \times 16^{-2}$$

由于在不同的数制中使用了相同的数码表示,如数码“10”,二进制时,其表示的值为十进制的2;十进制时,表示的值为10;十六进制时,表示的值为十进制的16。为了准确地表示数的大小,通常用后缀字母D、B和H分别表示十进制数、二进制数和十六进制数。由于大家对十进制数非常熟悉,写十进制数时,其后的D通常可以省略,如十进制数325可写成325D或325;二进制数10110011通常记为10110011B;十六进制数EF13通常记为0EF13H(注:当十六进制数的最高位为A~F时,前面通常要加一个0,说明它是一个十六进制数,而不是标号)。这样,每一串“数码”就唯一地表示了一个确定的数值。

十进制数0~15对应的4位二进制数和1位十六进制数如表1.1所示。

表 1.1 十进制、二进制和十六进制数对照表

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

1.3.2 不同数制之间的转换

人们习惯使用和熟悉的是十进制数,计算机内部采用的是二进制数,而编写程序时又多采用十六进制数,因此计算机在运算和处理信息时就涉及不同进制数之间的转换问题。

1. 其他进制数转换为十进制数

非十进制数转换为十进制数,只要将其按照相应的权展开形式进行表达,对该表达式再按照十进制数的运算规则求和,即可得到对应的十进制数。

【例 1.1】 将二进制数 1011.101 转换为十进制数。

解 根据二进制数权展开式,有

$$\begin{aligned}
 (1011.101)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\
 &= (11.625)_{10}
 \end{aligned}$$

2. 十进制数转换为其他进制数

十进制数转换为其他进制数,实际上就是确定要转换的相应进制数的各个位置数。总的方法是:对整数部分和小数部分分别进行,整数部分采用“连续除以基数取余数法”,小数部分采用“乘基数取整数法”。

(1) 十进制数转换为二进制数

十进制数整数部分转换为二进制数时采用连续除以 2 取余数作为结果,直至商为 0,将每次得到的余数按照从低位到高位顺序排列,即为转换后二进制数的整数部分;十进制数小数部分转换为二进制数时采用连续乘 2,以最先得到的乘积的整数部分为最高位,随后的作为次高位,直至达到所要求的精度或者小数部分为 0,得到的整数序列即为转换后二进制数的小数部分。将转换后的二进制数的整数部分和小数部分用小数点连接起来即是完整的转化结果。

(2) 十进制数转换为十六进制数

整数部分按“除以 16 取余数”的方法进行,而小数部分按“乘以 16 取整数”的方法进行。

【例 1.2】 将十进制数 123.375 转换为二进制数。

解 依照上述基本方法有

整数部分		小数部分	
$123/2 = 61$	余数 = 1	$0.375 \times 2 = 0.75$	整数部分 = 0
$61/2 = 30$	余数 = 1	$0.75 \times 2 = 1.5$	整数部分 = 1
$30/2 = 15$	余数 = 0	$0.5 \times 2 = 1.0$	整数部分 = 1
$15/2 = 7$	余数 = 1		
$7/2 = 3$	余数 = 1		
$3/2 = 1$	余数 = 1		
$1/2 = 0$	余数 = 1		

最终转换结果为

$$(123.375)_{10} = (1111011.011)_2$$

【例 1.3】将十进制数 455.656 25 转换为十六进制数。

解

整数部分		小数部分	
$455/16 = 28$	余数 = 7	$0.65625 \times 16 = 10.500\ 00$	整数部分 = 10(A)
$28/16 = 1$	余数 = C	$0.5 \times 16 = 8.000\ 00$	整数部分 = 8
$1/16 = 0$	余数 = 1		

最终转换结果为

$$(455.65625)_{10} = (1C7.A8)_{16}$$

3. 二进制数与十六进制数之间的转换

由于 $2^4 = 16$, 即 1 位十六进制数正好可用 4 位二进制数来表示, 这样二进制数与十六进制数之间的转换就很方便。

(1) 二进制数转换为十六进制数

二进制数转换为十六进制数的方法是从小数点开始分别向左和向右把整数和小数部分每 4 位分为一组。其中, 若整数部分最高位的一组不足 4 位, 则在其左边补 0 到 4 位; 若小数部分最低位的一组不足 4 位, 则在其右边补 0 到 4 位。然后将每组二进制数用对应的十六进制数代替, 即得到了转换结果。

(2) 十六进制数转换为二进制数

十六进制数转换为二进制数的方法与二进制数到十六进制数转换过程相反, 将每一位十六进制数用对应的 4 位二进制数取代即可。

1.3.3 单片机系统中有符号数的表示方法

计算机系统中为了将减法运算变为加法运算, 有符号数通常用补码来表示。

1. 原码

规定: 最高位为符号位, 0 表示正, 1 表示负, 其余各位二进制数表示数值的大小, 这种表示方法称为原码表示法。例如: +85 的原码为 01010101B; 而 -85 的原码为 11010101B。

2. 反码

正数的反码和原码相同;负数的反码为原码的各位按位取反(符号位除外)。例如:
+85的反码和原码相同,均为01010101B;而-85的反码为10101010B。

3. 补码

正数的补码和原码相同;负数的补码为反码的最低位加1。例如:+85的补码和原码相同,均为01010101B;而-85的补码为10101011B。

【例1.4】 计算 $85 - 36$ 。

解

$$\begin{array}{r} 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1 \\ +\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

$$(+85)\text{补码} = 01010101\text{B}$$

$$(-36)\text{补码} = 11011100\text{B}$$

$$85 - 36 = (+85) + (-36) = 00110001\text{B} = 31\text{H} = 49$$

0的补码是唯一的, $[+0]_{\text{补}} = [-0]_{\text{补}} = 00000000$;8位补码可表示数的范围为 $-128 \sim +127$ 。

1.3.4 单片机系统中常用的编码

计算机不仅要识别人们习惯的十进制数、完成数值计算问题,而且要大量处理各种文字、字符和各种符号(标点符号、运算符号)等非数值计算问题。这就要求计算机必须能够识别它们。也就是说,字符、符号和十进制数最终都必须转换为二进制格式的代码,即信息和数据的二进制编码。

根据信息对象的不同,计算机中的编码方式(码制)也不同,常见的码制有BCD码和ASCII码。

1. BCD 码

计算机用二进制表示数,而人们习惯于十进制的表示方式。如果让每4位二进制数表示一位十进制数,则更接近人们十进制的表示习惯。采取这样表示形式后,0~9的十进制数用0000~1001表示,10~15的十进制用00010000~00010101表示。无符号整数的这种表示称为数的BCD码(二-十进制)表示。最常见的BCD码为8421BCD码,如表1.2所示。

表 1.2 8421 BCD 码

十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BCD 码	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001

由于十进制数0~9可以用0000~1001表示,而在内存中的数据是以字节(8个二进制位)为单位存放的,所以BCD码在内存中的存放有两种方式:一种为一个字节存放一个BCD码;另一种为一个字节存放两个BCD码。由于后者存放信息紧凑,故称为压缩BCD