

概 述

本章主要介绍单片机的概念和发展、特点和分类,以及目前市场上广泛使用的主流机型,单片机典型应用实例,最后介绍了单片机应用中常用数制的基本知识。这些都是学习单片机必不可少的基础。

1.1 单片机概念及其主要发展阶段

随着计算机技术的发展和日渐成熟,为适应各领域智能化控制的需要,单片微型计算机(简称单片机)作为计算机的一个分支快速成长。在 20 世纪 70 年代至今 40 多年的时间里,单片机历经探索、发展、完善等几个阶段,目前广泛应用于工业控制、农业自动化、医疗器械、航空航天、通信以及家用电器等各个领域。

1.1.1 单片机的概念

单片机源于单片微型计算机,由英文 Single Chip Microcomputer 翻译而来,简称 SCM。即在一块半导体基片上集成中央处理器、存储器、中断系统、定时器/计数器、输入/输出接口和串行通信接口电路等计算机基本功能部件,连接合适的外设后,与软件结合,便能构成一个完整的计算机系统。

由于单片机主要应用于控制领域,近年来国内外逐渐采用微控制器(Micro Controller Unit),即 MCU 代替 SCM。但在国内,产业界或是教学及培训中仍沿用“单片机”这一称谓。

1.1.2 单片机的发展历程

20 世纪 70 年代,美国 Intel 公司推出 MCS-48,宣布世界上第一台单片机诞生。我国从 70 年代末开始引进和开发应用单片机技术,至今保持与国际基本同步发展。回顾单片机的发展历程,大致分为以下几个主要阶段。

1. 单片机雏形阶段

20 世纪 70 年代上半叶。在这一阶段,技术人员探索如何把计算机的主要部件集成在单芯片上。1971 年 Intel 公司推出的 MCS-48 实现了集成度为 2000 只晶体管/片的

4 位微处理器 Intel 4004,并配有随机存储器 RAM、只读存储器 ROM 和移位寄存器等芯片;随后,又研制出 8 位微处理器 Intel 8008。这虽不是真正意义上的单片机,但是单片微型计算机的雏形由此诞生。这一阶段的单片机主要用在家用电器、计算器、玩具等功能比较简单的产品中。

2. 单片机发展和完善阶段

20 世纪 70 年代末 80 年代初,Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了以 8051 为内核的 MCS-51 系列,使单片机性能趋于完善,其典型特征是通用总线型单片机体系结构,如下所述。

(1) 设置了 8 位单片机的并行三总线结构,包括 8 位数据总线、16 位地址总线以及多功能的异步串行通信接口。

(2) 外围功能单元采取由 CPU 集中管理的模式。

(3) 扩展了操作灵活的布尔处理器,提供了具有控制特性的位地址空间、位操作方式。

(4) 指令系统趋于丰富和完善,如增加了乘除法和比较指令,并且增加了许多突出控制功能的指令。

在这一时期,8 位单片机大量涌现,以 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 M6800 系列、Atmel 公司的 AT89 系列等为典型代表,主要用于一般的工业控制和智能仪器仪表。

3. 单片机高性能发展阶段

为满足测控系统要求的各种外围电路与接口电路,突出其智能化控制能力,Philips 等著名半导体厂商在 8051 基本结构的基础上,加强了外围电路的功能,突出了单片机的控制功能,将一些用于测控对象的模/数转换器、数/模转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等与单片机集成在一起,体现了单片机的微控制器特征。

为了进一步缩小单片机体积,出现了为满足串行外围扩展要求的串行总线及接口,如 I²C、SPI、Microwire 等。带有这些接口的各种外围芯片也应运而生,例如存储器、A/D、时钟等,出现了有较高性能的 16 位单片机,代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列、TI 公司的 TMS9900 系列等。在此阶段,单片机的应用范围更加广泛,几乎渗透到工业、农业、医疗、军工、通信、家电等各个领域,甚至在智能终端、局部网络接口及个人计算机中得到应用。

4. 单片机全面发展和升级阶段

16 位单片机面世不久之后,很多大型半导体和电气厂商开始加入单片机的研制和生产队伍。几大主流公司先后推出了代表当前最高性能和技术水平的 32 位单片机系列。该系列产品集成度高,CPU 可与其他微控制器兼容;指令系统进一步优化,内部采用精简指令系统计算机(RISC)结构,兼有高级语言编译器;运算速度快,并可动态改变,主频可达 33MHz 以上。代表产品有 Intel 公司的 MCS-80960 系列、Motorola 公司的 M68300 系列、TI 公司的 MSP430 系列等。

同时,为了适应各种应用场合的需要,推出了具有高速度、大存储容量、强运算能力的 8 位、16 位通用型单片机和小型、廉价的专用型单片机。

1.1.3 单片机的发展趋势

单片机以单片器件的形式进入电子技术领域,实现电子系统的智能化。由于单片机的集成度更高、功能更强、体积更小,性价比也越来越高,使之更加符合嵌入式系统的要求。为此,单片机技术将进一步完善和优化。具体表现在以下几个方面。

(1) CMOS 化:近年来,CHMOS 技术的进步促进了单片机 CMOS 化,使得 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度,传输延迟时间小于 2ns,其综合优势超过 TTL 电路。因此在单片机领域,CMOS 电路已基本取代 TTL 电路。

(2) 低功耗管理:现在几乎所有的单片机都有待机、掉电等低功耗运行方式。CMOS 芯片除了低功耗特性外,还具有功耗的可控性,使单片机可以工作在功耗精细管理状态。此外,有些单片机采用双时钟技术,即高速和低速两个时钟,在不需高速运行时,转入低速工作,以减少功耗;有些单片机采用高速时钟下的分频和低速时钟下的倍频控制运行速度,以降低功耗。低功耗不仅仅提高了效率,而且提高了产品的可靠性和抗干扰能力。

(3) 大容量化:以往单片机内的 ROM 一般为 1~4KB, RAM 为 64~128B,在很多场合存储容量不够,不得不外接扩充。为了简化系统结构,需要加大存储器容量。目前,有些单片机的内部 ROM 高达 64KB,片内 RAM 高达 2KB,专用的存储器芯片容量可达 4GB。

(4) 高性能化:主要是指进一步改进 CPU 的性能,加快指令运算的速度,提高系统控制的可靠性。有些单片机采用精简指令集(RISC)结构和流水线技术,大幅度提高了运行速度。目前,指令速度最高者已达 100MIPS(即兆指令/秒),并加强了位处理功能,以及中断和定时控制功能。

(5) 外围电路内装化:这是单片机内部资源增加的发展方向。随着集成度不断提高,有可能把各种外围功能器件集成在片内。例如,片内可集成的部件有模/数转换器、数/模转换器、脉宽调制器 PWM、监视定时器 WDT、液晶显示驱动电路等。

(6) 串行扩展技术:在很长一段时间内,通用型单片机通过并行三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着 I²C、SPI 等串行总线及接口的引入,推动了单片机“单片”应用结构的发展,使单片机的引脚可以设计得更节省,使单片机的系统结构更简化,并且更加规范化。

(7) 小容积、低价格:根据控制对象的不同,有时希望单片机的体积更小,价格更便宜,通过减少其内部资源来实现这一点。例如,减少内存,减少外部引脚等。为了缩小体积,甚至把时钟、复位电路外围器件等全部放在片内,使其成为只需要加电即可工作的单片机。有的单片机系列具有 8~28 脚封装的产品。

(8) ISP 和基于 ISP 的开发环境:快擦写存储器(Flash Memory)的出现和发展,推动了 ISP(In System Programmable)技术的发展。它的作用是把在 PC 上编好的程序通过定义的 3 根 ISP 接口线进行在线下载,即直接传输并且烧录到单片机的内存中。这种方法比使用一般的编程器廉价、方便。这些型号的单片机可利用 ISP 的开发环境进行仿真调试。

嵌入式系统起源于微型计算机时代,然而,微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足广大用户系统的嵌入式应用要求。因而,嵌入式系统的单芯片化应运而生,逐步过渡到

嵌入式系统独立发展的单片机时代。

应用以单片机为主的嵌入式系统,迅速地使传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。现在,从需要高、精、尖技术的火箭、飞船,到日常生活中的手机、汽车电子器件、智能玩具、家用电器等,无处不见单片机的身影。单片机已经成为人类社会进入全面智能化时代的有力工具。

1.2 单片机的特点及分类

1.2.1 单片机的特点

经过多年的发展和完善,单片机具备了如下特点:

(1) 控制功能强。为了满足工业控制的要求,单片机的指令系统中均有极丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作以及位处理功能。

(2) 集成度高,体积小,有很高的可靠性。单片机把各功能部件集成在一块芯片上,内部采用总线结构,减少了芯片内部之间的连线,大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。另外,由于其体积小,对于强磁场环境易于采取屏蔽措施,因此适合在恶劣环境下工作。

(3) 具有优异的性能价格比。

(4) 低电压、低功耗,便于生产便携式产品。

(5) 增加了 I²C 串行总线方式、SPI 串行接口等,进一步缩小了体积,简化了结构。

(6) 单片机的系统扩展、系统配置较典型、规范,容易构成各种规模的应用系统。

1.2.2 单片机的分类

按照不同的分类标准,将单片机做以下区分,供用户选择时参考。

1. 按出产地域划分

例如,以 Intel 公司、Motorola 公司为代表的美国系列的单片机及其兼容产品,其产量和市场份额最多;以 Toshiba(东芝)、Hitachi(日立)公司为代表的日本系列,以及荷兰 Philips 公司、德国 Siemens 公司的产品系列等都是单片机市场的主流。

2. 按照 CPU 处理能力划分

按照 CPU 一次能够处理的二进制位数,分为 4 位、8 位、16 位、32 位单片机。其中,8 位单片机的使用率和市场占有率最高,其次是 32 位机。

3. 按使用目的划分

根据用户的使用目的,分为通用单片机和专用单片机。

此外,可以按照单片机的制造工艺或产品级别等分类。

1.2.3 常用单片机系列介绍

目前,全世界生产和研制单片机的厂商有上百家。下面简要介绍常用的单片机系列产品。

1. 80C51 系列单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 的基础上,于 1980 年推出的 8 位单片机。作为单片机的经典系列,MCS-51 至今仍为业界广泛生产和使用。其中的 80C51 子系列单片机更是性能优越,兼容能力极强,产品型号非常齐全。

80C51 系列单片机的主要特点如下所述:

- (1) 8 位 CPU(8 位数据,16 位地址),寻址能力达到 64KB。
- (2) 片内有 4KB 程序存储器 ROM 和 128B 用户数据存储器 RAM。
- (3) 4 个 8 位的 I/O 接口。
- (4) 2 个或 2 个以上的定时器/计数器。
- (5) 5 个或 5 个以上的中断源及 2 个中断优先级。
- (6) 1 个全双工的异步串行通信接口。

80C51 系列单片机内部资源配置如表 1-1 所示。

表 1-1 80C51 系列单片机内部资源配置

芯片型号	片内 ROM	片内 RAM	并行 I/O 口	中断源	定时器/计数器	串行口
80C31	0	128B	4×8	5	2×16	1
80C51	4KB	128B	4×8	5	2×16	1
87C51	4KB	128B	4×8	5	2×16	1
80C32	0	256B	4×8	6	3×16	1
80C52	4KB	256B	4×8	6	3×16	1

2. 与 80C51 系列兼容的单片机

20 世纪 80 年代中期以后,Intel 公司以专利转让的形式把 8051 内核给了许多半导体厂家,如 Atmel、Philips、Analog Devices、Dallas 等,生产与 Intel 公司 MCS-51 指令系统兼容的单片机。这些单片机采用 CMOS 工艺,因而人们常用 80C51 系列来称呼所有具有 8051 指令系统的单片机。其他厂商的 80C51 系列兼容产品对 8051 都做了扩充,在片内集成了如 Flash ROM、ADC、DAC、串行外围接口 SPI、Watchdog 定时器、各种总线等,使其更有特点,功能更强。部分厂家的 80C51 系列兼容机型特性如表 1-2 所示。

表 1-2 部分厂家的 80C51 系列兼容机型特性对照

厂家	型号	片内 ROM	片内 RAM	定时器/ 计数器	并行 I/O 口	中断源	串行口
宏晶科技	STC12C5A60S2	60KB Flash ROM	1280B	4×16	36/40/44	10	2
NXP	P89LPC931	8KB Flash ROM	256B	2×16	23	13	1
Atmel	AT89S51/52	4/8KB Flash ROM	128/256B	$2/3 \times 16$	32	5/6	2
TI	MSC1210Y2	4+2KB Flash ROM	1280B	3×16	32	21	2
SST	SST89E554	32+8KB Flash ROM	1KB	3×16	32	8	2

3. 主流单片机产品系列

1) AT89 系列

1998 年以后,由美国 Atmel 公司率先推出的 AT89 系列单片机成为 80C51 系列一个

新的分支。其最突出的优点是把快擦写存储器应用于单片机中。这使得单片机在开发过程中修改程序十分容易,大大缩短了产品开发周期。同时,AT89 系列单片机的引脚和 80C51 是兼容的,所以,用 AT89 系列单片机取代 80C51 时,可以直接替换。由于 AT89 系列单片机的上述明显优点,使其迅速占领单片机主流市场。

2) STC 系列

STC 系列单片机是宏晶科技公司的产品,有 STC89、STC90、STC10、STC11、STC12、STC15 等几个系列,每个系列都有自己的特点。STC89 系列与 Atmel 公司的 AT89 系列完全兼容。STC90 是基于 STC89 系列的改进型产品。STC10 和 STC11 系列为低价格的单周期工作单片机,STC12 系列是增强型功能的单周期工作单片机。目前 STC12 是 STC 系列的主流产品。

3) LPC 系列

LPC 系列单片机为 NXP(恩智浦半导体)公司生产的基于 80C51 内核的单片机,有 LPC700、LPC900 等系列。LPC900 系列采用双周期工作技术,具有体积小、功耗低、高性能和低成本的特点,其内部集成了大量的外设功能,在产品设计中可以节省外围器件,在简化系统设计、降低系统成本的同时进一步提高了系统的可靠性,广泛应用于各类智能型电子产品中。

4) MC68 系列

MC68 系列单片机是 Motorola 公司的主流产品,其中的子系列 MC6805、MC68HC05 和 MC68HC11 以其灵活的 CPU 结构、大量面向控制的外围接口和更加复杂的 I/O 功能,以及高频噪声低、抗干扰能力强等优势,极其适合工业控制领域和恶劣的工作环境,成为国际上应用最广的 8 位单片机之一。

5) PIC 系列

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司推出的高性能 8 位系列单片机。它率先采用 RISC 技术,以高速、低耗、体积小、价格低、程序保密性强、品种多和开发方便等优点得到市场广泛认可。

PIC 系列单片机采用精简指令集,分为低、中和高档 3 个级别的产品,指令分别为 33 条、35 条和 58 条,极大地简化了指令系统。PIC 配备有多种形式的芯片,特别是其 OTP (One Time Program)型芯片的价格很低。PIC 中的 PIC12C51 $\times\times$ 是世界上第一个 8 脚封装的低价 8 位单片机。用户可根据需要选择不同档次和不同功能的芯片,通常无须外扩程序存储器、数据存储器和 A/D 转换器等外部芯片。

6) MSP430 系列

MSP430 系列单片机由 TI 公司(美国德州仪器)生产,其最主要特点是低电压和超低功耗。MSP430 系列单片机一般在 1.8~3.6V、1MHz 的条件下运行,耗电电流因不同的工作模式而不同,可长时间用电池工作;指令更加精简,核心指令只有 27 条;CPU 中的 16 个寄存器和常数发生器使 MSP430 系列单片机能达到最高的代码效率,体现出超强的处理能力;MSP430 系列单片机具有 16 个中断源,可以任意嵌套,用中断请求将 CPU 唤醒只需 6 μ s;提供了较丰富的片内外设模块的不同组合,如看门狗、定时器 A、定时器 B、串口 0~1、液晶驱动器、10/12/14 位 ADC、端口 0~6(P0~P6)、基本定时器等。MSP430

有 16 位 CPU,属于 16 位单片机,也是目前国内用量最大的 16 位单片机。

此外,还有 Intel、LG、Siemens、NEC、Winbond 等公司的单片机系列产品,都占有一定的市场份额。

1.2.4 控制系统实例：单片机水温控制系统

单片机应用系统由硬件和软件组成。硬件是应用系统的基础,软件是在硬件的基础上对其资源合理调配,完成应用系统要求的任务,是功能的体现者。硬件和软件相互依赖,缺一不可。

在实际应用中,要让单片机完成相应的工作,需要将单片机和被控对象进行电气连接,外加各种扩展接口电路、外部设备、被控对象的硬件和软件,构成单片机应用系统。单片机硬件系统的典型组成框图如图 1-1 所示,由单片机、输入控制、输出显示、通信接口、外围功能器件以及晶振、复位电路等组成。

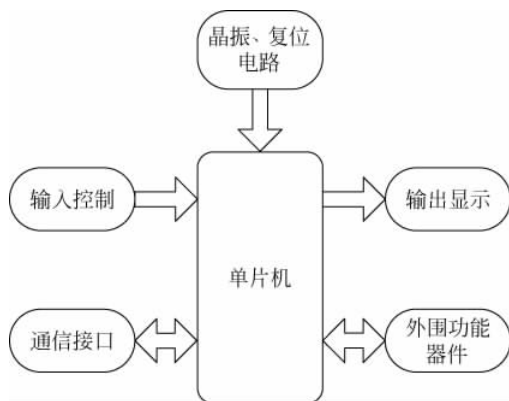


图 1-1 单片机硬件系统的典型组成框图

采用“典型实例分合”的方式,以典型实例——水温控制系统为项目导引,将其分解得到相应的知识模块,将分解出来的知识模块放到后面相应章节介绍,最后将水温控制系统所有内容综合。

1. 水温控制系统设计任务要求

设计并制作一个水温控制系统,控制对象为 20 升(L)的不锈钢水箱。具体要求如下所示。

1) 控制对象

- (1) 水箱容积: 20L。
- (2) 额定功率: 1kW。
- (3) 额定工作电压: AC 220V/50Hz。

2) 主要功能

- (1) 温度控制范围与精度: 控制范围 20~70℃,控制精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 温度显示: 数码管显示设定水温 and 实际水温,水温测量分辨率 0.1℃。
- (3) 温度设定: 通过按键调节设定温度,水温设定步进 1℃。

2. 水温控制系统单片机型号选择

温度控制系统惯性大,控制周期长,运算工作量不大,选择普通的 8 位单片机即可满足要求。本书以 AT89S51/S52 单片机为主介绍单片机控制系统的硬件设计与软件设计,因此,水温控制系统的控制核心选用 AT89S51 单片机。

3. 水温控制系统硬件原理图

水温控制系统的硬件原理如图 1-2 所示。与图 1-1 相对比,水温控制系统主要由单片机、输入控制、输出显示、外围功能器件以及晶振、复位电路等几个部分组成。其中,外围功能器件用于采样测量水温。该应用实例没有考虑通信问题,故硬件电路没有通信接口部分的内容。在后续各章节中,水温控制系统的软件、硬件被分解成若干任务子项,每个任务子项都与相应章节内容结合完成设计。最后一章完成水温控制系统的总体设计。

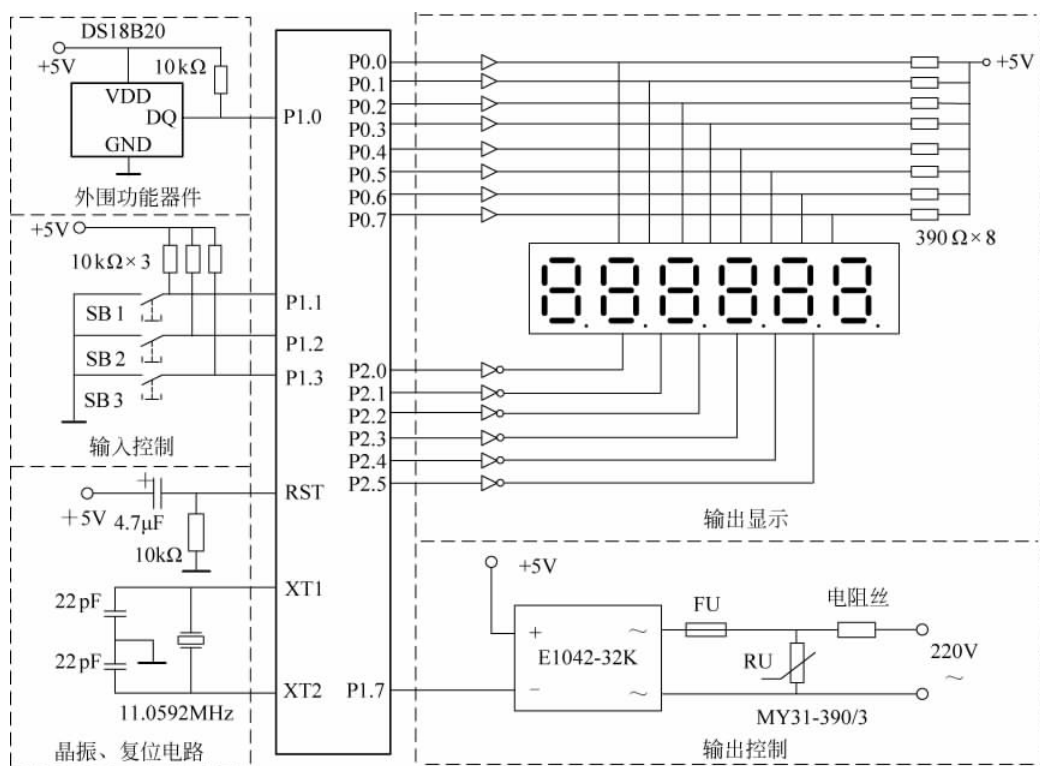


图 1-2 水温控制系统硬件原理图

1.3 单片机中常用的计数方法

单片机应用是一门典型的硬件与软件相结合的技术。利用基础电子技术、集成电路技术等制成单片机的物理载体;相关的数学知识、数据结构算法、控制理论及指令系统等是单片机应用的软件基础。下面主要介绍单片机中常用的计数方法。

1.3.1 常用数制

1. 数制

数制是人们利用符号计数的科学方法。数制有很多种,在计算机中常用的是十进制、二进制和十六进制。

数制有两个要素,即基数和权。某种数制所使用的数码符号个数称为基数。如用二进制计数时,需要 0 和 1 两个符号,则基数为 2,遵循“逢 2 进 1,借 1 当 2”的原则。数制中某一位所具有的单位数大小称为权。它是以该数制的基数为底,以数码所处的位置号为幂的一个指数,如十进制各位的权是以 10 为底的幂。

1) 十进制

十进制是日常生活和一般的数学计算中最常见的数制,十进制的基数是“10”,即它所使用的数码为 0~9 共 10 个数字,符合“逢 10 进 1,借 1 当 10”的规律。每个数所处的位置不同,其值不同。从右开始,左边的权是右边的 10 倍,每个十进制数的数值是按权展开再相加的结果。例如:

$$1234 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

2) 二进制

在数字电子电路中,一般用“1”和“0”分别表示电路的状态,如开关的“通”和“断”,电平的高和“低”;反之,用电路很容易表示“1”和“0”。而十进制所用的数字较多,用电路很难实现。采用二进制,可以方便地利用电路完成计数工作。所以,计算机中常用的进位制是二进制。

二进制的基数为“2”,使用的数码为 0 和 1,共 2 个数。二进制各位的权是以 2 为底的幂。例如,二进制数 111B 按权的展开式为:

$$111B = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 4 + 2 + 1 = 7$$

上式中的后缀 B 表示该数为二进制数。无后缀者,默认为十进制数。

3) 十六进制

由于二进制的位数太长,不易记忆,不易书写,在计算机中常常用十六进制书写指令中的数。十六进制的基数为“16”,“逢 16 进 1,借 1 当 16”,其数码共有 16 个,即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其中,A~F 相当于十进制数的 10~15。十六进制的权是以 16 为底的幂。例如,数 7F5H 的按权展开式为:

$$7F5H = 7 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 5 \times 16^0 = 1792 + 240 + 5 = 2037$$

上式中的后缀 H 表示该数为十六进制数。由于十六进制数易于书写和记忆,而且与二进制之间的转化十分方便,因而人们在书写计算机的语言时多采用十六进制。

2. 数制间的转换

1) 任意进制数转换成十进制数

按权展开后相加。例如:

$$111B = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 4 + 2 + 1 = 7$$

$$A5H = 10 \times 16^1 + 5 \times 16^0 = 160 + 5 = 165$$

2) 十进制数转换为其他进制数

一个十进制数转换成二进制数时,通常采用“除2取余”法,即用2连续除十进制数,直到商为0,逆序排列余数即可得到。例如,将14转换成二进制数:

2	14	余数	
2	7	0	低位
2	3	1	
2	1	1	
	1	1	高位

结果: $14 = 1110\text{B}$ 。

同理,将十进制数“除16取余”,即可得到十六进制数。

3) 二、十六进制之间的转换

因为十六进制的权是16的倍数,而4位二进制数的最大值是16。也就是说,4位二进制数的每一个编码都对应十六进制的相应数码。所以,1位十六进制数可以转化为4位二进制数,反之亦然。十六进制数转换成二进制数时,将每位十六进制数对应转换为4位二进制数;二进制数转换成十六进制数时,从右向左,将每位4位二进制数对应转换为1位十六进制数。例如:

$$6\text{F9DH} = 01101111110011101\text{B}$$

1.3.2 计算机中数的表示及运算

一个数的实际数值为真值,可以用有符号或无符号的多种数制形式表示。计算机中的数是以二进制表示的,通常称为机器数。机器数又有原码、反码和补码3种形式。

1. 无符号数的表示方法

无符号数因为不需要专门的符号位,所以 N 位二进制数的 $D_N \sim D_0$ 均为数值位,它的表示范围为 $0 \sim 2^N$,且均视为正数。

2. 有符号数的表示方法

数学上分别用“+”和“-”来表示正数和负数。在计算机中,由于采用二进制,只有“1”和“0”两个数字,一般规定最高位为符号位。符号位为“0”表示正数,为“1”表示负数。计算机中的有符号数有3种表示法,即原码、反码和补码。

1) 原码

对于一个8位二进制数,正数的符号位用“0”表示,负数的符号位用“1”表示,其余的7位表示有效数据。这种表示法称为原码。因为符号位占据了最高位,所以8位二进制数实际可表示的数据位为 $D_0 \sim D_6$ 。

例如:设 X 、 Y 两数的真值分别为 $X = +1010111$, $Y = -1010111$,则

$$[X]_{\text{原}} = 01010111, \quad [Y]_{\text{原}} = 11010111$$

在原码表示的数中,最高位分别用“0”“1”代替了“+”“-”。

2) 反码

反码是在原码的基础上求得的。如果是正数,则反码与原码相同;如果是负数,则其反码为原码的符号位不变,其余各位按位取反。