

# 第 1 章 单片机概述

## 1.1 单片机的概念

### 1.1.1 单片机的定义

单片机的全称是单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer, SCM), 也称为微控制器 (Micro-Controller Unit, MCU), 它是将中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU)、数据存储器 RAM (Random Access Memory, 随机读写存储器)、程序存储器 ROM (Read Only Memory, 只读存储器) 以及 I/O (Input/Output, 输入/输出) 接口集成在一块芯片上, 构成的一个计算机系统, 其组成框图如图 1.1 所示。单片机可用下面的“表达式”来表示:

单片机 = MPU+ROM+RAM+I/O+功能部件

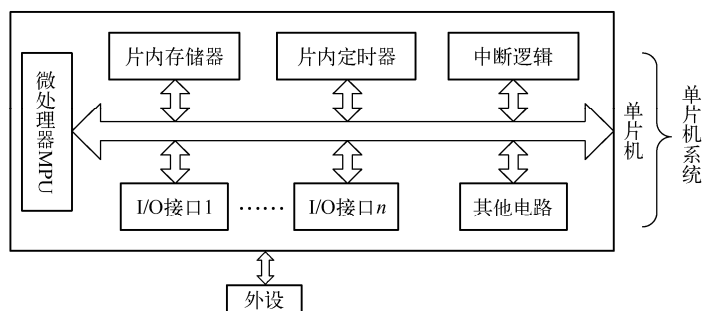


图 1.1 单片机的组成框图

### 1.1.2 单片机的诞生

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末, 具有代表性的事件是 1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机系列的第一款产品: 8048。这款单片机在一个芯片内集成了超过 17000 个晶体管, 包含一个 CPU, 1KB 的 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory, 可擦可编程只读存储器), 64 字节的 RAM, 27 个 I/O 端口和一个 8 位的定时器。8048 很快就成为了控制领域的工业标准, 它们起初被广泛用来替代诸如洗衣机或交通灯等产品中的控制部分。

1980 年, Intel 公司在 MCS-48 的基础上推出了 MCS-51 系列的第一款单片机 8051, 这款单片机的功耗、大小和复杂程度都比 8048 提高了一个数量级。8051 集成了超过 60000 个晶体管, 拥有 4KB 的 ROM, 128B 的 RAM, 32 个 I/O 端口, 一个串行通信接口和两个 16 位的定时器。经过三十多年的发展, MCS-51 系列单片机已经形成了一个规模庞大、功能齐全、资源丰富的产品群。

### 1.1.3 单片机的应用领域

单片机在我们的日常生活和工作中无处不在、无处不有：家用电器中的微波炉、洗衣机、电饭煲、豆浆机、电子秤；住宅小区的监控系统、电梯智能化控制系统；汽车电子设备中的 ABS、GPS、ESP、TPMS；医用设备中的呼吸机，各种分析仪，监护仪，病床呼叫系统；公交汽车、地铁站的 IC 卡读卡机、滚动显示车次和时间的 LED 点阵显示屏；电脑的外设，如键盘、鼠标、光驱、打印机、复印机、传真机、调制解调器；计算机网络的通信设备；智能化仪表中的万用表、示波器、逻辑分析仪；工厂流水线的智能化管理系统，成套设备中关键工作点的分布式监控系统；导弹的导航装置，飞机上的各种仪表等。可以说，单片机已经渗透到了我们生活的各个领域。根据资料显示，2007 年全球单片机的产值达到 151 亿美元，我国单片机的销售额达到 400 亿元人民币，我国每年单片机的需求量达 50 亿~60 亿片，是全球单片机的最大市场。

### 1.1.4 单片机与嵌入式系统

所谓嵌入式系统，就是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。对象体系则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。按照上述嵌入式系统的定义，只要满足定义中三要素的计算机系统，都可称为嵌入式系统。嵌入式系统按形态可分为设备级（工控机）、板级（单板、模块）、芯片级（MCU、SoC）。单片机是嵌入式系统使用的一种核心元件。

嵌入式系统是现代计算机的两大分支之一，另一大分支是通用计算机，通用计算机的代表性产品是个人计算机。这两大计算机分支的发展方向不同：通用计算机的发展方向是总线速度的无限提升，存储容量的无限扩大；嵌入式系统的发展方向是体积更小、控制能力与控制的可靠性更高。

## 1.2 单片机发展史及发展趋势

单片机的发展历史可划分为如下三个阶段。

第一阶段（1974—1976 年）：为单片机初级阶段。因受工艺和集成度的限制，单片机采用双片形式。例如，仙童公司的 F8 必须外接一块 3851 电路才能构成一个完整的微型计算机。

第二阶段（1976—1978 年）：为低性能单片机阶段。单片机由一块芯片构成，但性能低、品种少。以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为典型代表。它具有 CPU、并行口、定时器、RAM 及 ROM。这是一个真正的单片机，但其 CPU 功能不强，I/O 口种类和数量很少，其 ROM 和 RAM 也很有限，只能应用于比较简单的场合。例如，90 年代中期以前的 PC 键盘几乎无一例外地使用 MCS-48 系列单片机作为控制部件。

第三阶段（1978—1982 年）：为高性能单片机阶段。在这一阶段出现了很多新型单片机，这些新型单片机不仅有功能强大的 CPU，I/O 口种类和数量较多，而且具有容量较大的 ROM 和 RAM 以及种类繁多的功能部件。

第四阶段（1982 年至今）：微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用，出现了高速、寻址空间更大、运算能力更强的 8 位/16 位/32 位通用型单片机、

嵌入式微控制器 (MCU)、SoC 片上系统 (System on Chip), 以及小型廉价的专用型单片机。

目前单片机的发展有以下几个主要的趋势。

(1) 低功耗。单片机多数是采用 CMOS (互补金属氧化物半导体) 半导体工艺生产。CMOS 芯片除了具有低功耗特性之外, 还具有功耗的可控性。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快, 但功耗和芯片面积较大。随着技术和工艺水平的提高, 又出现了 HMOS (高密度、高速度 MOS) 和 CHMOS 工艺。目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度, 传输延迟时间少于 2ns。它的综合优势已优于 TTL 电路, 因此, 在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等省电运行方式。允许使用的电压范围越来越宽, 一般在 3~6V 范围内工作。8051F9XX 单片机的最低电压可到 0.9V, Atmel 公司最新发布的 0.7V TinyAVR 甚至可以使用一个纽扣电池供电。

(2) 外围电路内装化。目前单片机的集成度不断提高, 除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外, 片内集成的部件还有模/数转换器、数/模转换器、人机界面、通信接口、I2C、SPI、CAN、USB 总线等。人机界面技术与开始只在高端单片机产品中使用, 现在已经延伸到中低端单片机上, 这就是工业产品的消费化趋势。AVR、PIC 单片机都支持 LCD、触摸传感功能。Atmel 的 Qtouch 技术与 PicoPowerMCU 和触摸软件库形成低成本方案。伴随着互联网的广泛应用, 各种有线和无线的通信方式与单片机结合的越发紧密。CAN、USB 和 Ethernet 已经成为 32 位单片机的基本组成部分。无线技术在工业和消费电子产品中的应用越来越多。如 TI 公司的 CC2430, 被称为无线单片机, 它是一种集成了单片机和无线收发模块的 SoC。

(3) 大容量。为了适应复杂控制领域的要求, 须运用新的工艺, 使片内存储器大容量化。以往单片机内的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。而为了不同应用场合的要求, 可以加大内存存储容量。目前, 单片机片内 ROM 可达 12KB, RAM 可达 1MB, 寻址可达 16MB。随着半导体工艺技术的不断发展, 片内存储容量还将进一步扩大。

(4) 高速化。主要是指进一步改变 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。现指令速度最高者已达 100MIPS (Million Instruction Per Second, 兆指令每秒), 并加强了位处理、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 可以使用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

(5) 低价格、小容量。以 4 位、8 位机为中心的小容量、低价格化也是发展动向之一。这类单片机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片机化, 可广泛用于家电产品。

随着集成工艺的不断发展, 单片机一方面向集成度更高、体积更小、功能更强、功耗更低方向发展, 另一方面向 32 位以上及双 CPU 方向发展。

### 1.3 MCS-51 系列单片机及其兼容产品

MCS-51 系列单片机指的是 Intel 公司生产的一个系列的单片机的总称。20 世纪 80 年代中期以后, 由于 Intel 公司将重点放在高档微处理器芯片的开发上, 所以将其 MCS-51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售的形式转让给了全世界许多著名 IC 设计厂商, 如 AMTEL、PHILIPS、ANALOG DEVICES、DALLAS 等。这些厂家生产的单片机是 MCS-51

系列单片机的兼容产品，或者说是与 MCS-51 指令系统兼容的单片机。MCS-51 系列单片机是商业化单片机的鼻祖，多年来积累的技术资料和开发经验是其他系列单片机所不能比拟的，MCS-51 系列单片机事实上已经成为 8 位单片机的行业标准。所以，本教材以 MCS-51 系列单片机为对象进行介绍。

### 1.3.1 MCS-51 系列单片机分类

MCS-51 系列单片机按照功能可以划分为以下主要类型。

#### (1) 基本型

基本型主要包括 8031、8051 和 8751 等通用产品，其基本特性如下：

- 8 位 CPU；
- 4KB 片内程序存储器（ROM）；
- 128B 片内数据存储器（RAM）；
- 32 条并行 I/O 口线；
- 21 个专用寄存器；
- 2 个 16 位可编程加法定时/计数器；
- 5 个中断源，两个优先级；
- 一个全双工串行通信口；
- 外部数据存储器寻址空间为 64KB；
- 程序存储器寻址空间为 64KB；
- 逻辑操作位寻址功能；
- 一个片内时钟振荡器和时钟电路；
- 单一+5V 电源供电。

#### (2) 增强型

增强型有 8052、8032、8752、89C52、89S52 等。这些单片机内部的 ROM、RAM 容量比基本型增大了一倍，同时定时器增至 3 个。87C54 内部 ROM 为 16KB，87C58 增加到 32KB。另外，诸如中断源、A/D、SPI、IIC 接口等也越来越多地集成到了 MCS-51 单片机中。

#### (3) 低功耗型

低功耗型有 80C5X、80C3X、87C5X 和 89C5X 等。型号中有“C”字样的单片机采用 CHMOS 工艺，特点是低功耗。

#### (4) ISP 型

ISP (In System Programming, 在线系统编程)，一种无须将存储芯片（如 EPROM）从嵌入式设备上取出就能对其进行编程的过程。在线系统编程需要在目标板上有额外的电路完成编程任务。其优点是，即使器件焊接在电路板上，仍可对其（重新）进行编程。具有代表性的 ISP 产品有 Atmel 公司的 AT89S51、AT89S52 等 S 系列的产品。

#### (5) IAP 型

IAP (In Application Program, 在应用中可编程) 是用户自己的程序在运行过程中对 User Flash 的部分区域进行烧写，目的是为了在产品发布后可以方便地通过预留的通信口对产品中的固件程序进行更新升级。

通常在用户需要实现 IAP 功能时，需要在设计固件程序时编写两部分代码，第一部分代

码不执行正常的功能操作，而只是通过某种通信方式（如 USB、USART）接收程序或数据，执行对第二部分代码的更新；第二部分代码才是真正的功能代码。这两部分项目代码都同时烧写在 User Flash 中，当芯片上电后，首先是第一个项目代码开始运行，将进行如下操作：

- ① 检查是否需要第二部分代码进行更新；
- ② 如果不需要更新则转到④；
- ③ 执行更新操作；
- ④ 跳转到第二部分代码执行。

第一部分代码必须通过其他手段，如 JTAG 或 ISP 烧入；第二部分代码可以使用第一部分代码 IAP 功能烧入，也可以和第一部分代码一并烧入，以后需要程序更新时再通过第一部分 IAP 代码更新。

典型的 IAP 芯片如 SST 公司开发的 C51 系列单片机：SST89C54/58。

### 1.3.2 MCS-51 系列单片机的兼容产品

目前，与 MCS-51 系列单片机兼容的单片机主要有如下几种。

#### （1）Motorola 单片机

Motorola 是世界上最大的单片机厂商，品种全、选择余地大、新产品多是其特点。在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08。68HC05 有三十多个系列，二百多个品种，产量已超过 20 亿片。16 位机 68HC16 也有十多个品种。32 位单片机的 683XX 系列也有几十个品种。Motorola 单片机特点之一是在同样速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多，因而使得高频噪声低、抗干扰能力强，更适合用于工业控制领域及恶劣的环境。

#### （2）Microchip 单片机

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列产品，已有三种系列多种型号的产品问世，从电脑的外设、家电控制、电信通信、智能仪器、汽车电子到金融电子的各个领域都得到广泛的应用。它的主要产品是 16C 系列 8 位单片机，CPU 采用 RISC 结构，仅 33 条指令，其高速度、低电压、低功耗、大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP 技术等都体现出单片机产业的发展新趋势。且以低价位著称，一般单片机价格都在一美元以下。Microchip 单片机没有掩膜产品，大都是 OTP（一次性可编程）器件，近年已推出 Flash 型单片机。Microchip 强调节约成本的最优化设计、使用量大、档次低、价格敏感的产品。

#### （3）Atmel 单片机

Atmel 一共有三个系列的单片机 AT89、AT90 和 AT91。AT89 是以 51 内核为标准的单片机，它是改进型的 51 单片机，比如 AT89C51 AT89S51；AT90 系列单片机主要对应的是 AVR 单片机（Atmel 最主要的单片机）。AVR 有三个系列：Attiny 系列、AT90 系列、ATmega 系列，分别对应 AVR 中的低档、中档和高档单片机。所有的 AVR 单片机都支持 ISP，而且 AVR 单片机是一款 RISC（精简指令）型单片机，51 单片机是 CISC（复杂指令）型单片机。AVR 单片机的功能远远强于 51 单片机；AT91 系列单片机主要对应的是高端的 32 位 ARM 单片机，一般采用 ARM7 内核。

#### （4）STC 单片机

STC 系列单片机是深圳宏晶公司的产品，在众多的 51 系列单片机中，要算国内 STC 公司的 1T 增强系列更具有竞争力，它不但和 8051 指令、引脚完全兼容，而且其片内的大容量

程序存储器为 FLASH 工艺，如 STC12C5A60S2 单片机内部就自带高达 60K FLASHROM，这种工艺的存储器用户可以用电的方式瞬间擦除、改写，除此以外，这个芯片设计的时候就吸取 51 系列单片很容易被破解的教训，改进了加密机制，STC 单片机出厂的时候就已经完全加密，用户程序是 ISP/IAP 机制写入，编程的时候是一边校验一边编程，无法读出命令，以此增加了解密难度。

## 1.4 计算机基础知识

### 1.4.1 数制

#### (1) 进位计数制

进位计数制：一个  $r$  进制数  $N$ ，数的每一位只能取  $r$  个不同的数字，即符号集  $\{0, 1, 2, \dots, r-1\}$ （不含  $r$ ），对于一个  $r$  进制数  $N(a_m a_{m-1} \dots a_2 a_1 a_0 a_{-1} a_{-2} \dots a_{-n})$  可以展开表示为权展开式：

$$N = a_m r^m + a_{m-1} r^{m-1} + \dots + a_2 r^2 + a_1 r^1 + a_0 r^0 + a_{-1} r^{-1} + a_{-2} r^{-2} + \dots + a_{-n} r^{-n}$$

其中  $r$  称为基数， $r^j$  称为对应于某一位的权（位权）。

表示数时，仅用一位数字往往不够用，必须用进位计数的方法组成多位数字。多位数字每一位的构成以及从低位到高位进位的规则（逢  $r$  进一）称为进位计数制，简称进位制。

例：一个十进制数  $982.12$ ，数的每一位只能取  $(0, 1, \dots, 9)$  10 个不同的数字，对于十进制数  $(982.12)_{10}$ ，其权展开式为：

$$(982.12)_{10} = 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$$

例：一个八进制数  $713.01$ ，数的每一位只能取  $(0, 1, \dots, 7)$  8 个不同的数字，对于八进制数  $(713.01)_8$ ，其权展开式为：

$$(713.012)_8 = 7 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2}$$

例：一个十六进制数  $A0.8F$ ，数的每一位只能取  $(0, 1, \dots, 9, A, B, C, D, E, F)$  16 个不同的数字（其中 A 代表 10，B 代表 11， $\dots$ ，F 代表 15），对于十六进制数  $(A0.8F)_{16}$ ，其权展开式为：

$$(A0.8F)_{16} = 10 \times 16^1 + 0 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2}$$

例：一个二进制数  $11011.01$ ，数的每一位只能取  $(0, 1)$  2 个不同的数字，对于二进制数  $(11011.01)_2$ ，其权展开式为：

$$(11011.01)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

#### (2) 十进制

数码为：0~9；基数是 10；用字母 D 表示。

运算规律：逢十进一。

十进制数的权展开式：

$$(5555)_D = (5555)_{10} = 5 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

又如：

$$(209.04)_D = 2 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 0 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$$

#### (3) 二进制

数码为：0、1；基数是 2；用字母 B 表示。

运算规律：逢二进一。

二进制数的权展开式：

$$(101.01)_B=(101.01)_2=1\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0+0\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}=(5.25)_D$$

(4) 八进制

数码为：0~7；基数是8；用字母Q表示。

运算规律：逢八进一。

八进制数的权展开式：

$$(161.01)_Q=(101.1)_8=1\times 8^2+6\times 8^1+1\times 8^0+1\times 8^{-1}=(113.125)_D$$

(5) 十六进制

数码为：0~9，A~F；基数是16；用字母H表示。

运算规律：逢十六进一。

十六进制数的权展开式：

$$(D8.A)_H=(D8.A)_{16}=13\times 16^1+8\times 16^0+10\times 16^{-1}=(216.625)_D$$

## 1.4.2 数制转换

(1) N进制转换为十进制

对N进制数的权展开式求和，即可以将其转换为十进制数。

(2) 十进制转换为N进制

要将十进制转换为N进制，需要将整数部分和小数部分分别进行转换：整数部分采用“除基(N)取余倒排列”法，先得低位，再得高位，小数部分采用“乘基(N)取整正排列”法，先得高位，再得低位。

例如，十进制数44.375转换为二进制数：整数部分采用“除2取余倒排列”法，直到商为0，先取得的余数为低位，后取得的余数为高位，如图1.2所示。小数部分采用“乘2取整正排列”法，直到取整后小数部分为0或达到需要的精度，先取得的整数为高位，后取得的整数为低位，如图1.3所示。转换后再合并。

2	44	余数	低位	
2	22	.....	0 = K <sub>0</sub>	↑
2	11	.....	0 = K <sub>1</sub>	
2	5	.....	1 = K <sub>2</sub>	
2	2	.....	1 = K <sub>3</sub>	
2	1	.....	0 = K <sub>4</sub>	
	0	.....	1 = K <sub>5</sub>	
			高位	

图 1.2 整数部分转换示意图

	0.375			
	× 2	整数	高位	↓
	0.750	.....	0 = K <sub>-1</sub>	
	0.750			
	× 2			
	1.500	.....	1 = K <sub>-2</sub>	
	0.500			
	× 2			
	1.000	.....	1 = K <sub>-3</sub>	↓
			低位	

图 1.3 小数部分转换示意图

所以 $(44.375)_{10}=(101100.011)_2$ 。

(3) 二进制数与八进制数的相互转换

二进制数与八进制数的相互转换，按照每3位二进制数对应于一位八进制数进行转换，具体方法如下。

二进制转换为八进制：三合一，以小数点为界，左右两边每三位为一组，不足三位需要补0。

八进制转换为二进制：一分为三，再去掉小数点左边最高位的0和小数点最右边最低位

的 0。

例如，将二进制数 11101010.0111 转换为八进制数：

$$011\ 101\ 010.011\ 100 = (352.34)_8 \text{ (不足三位补 0)}$$

$$(526.74)_{16} = (11\ 010\ 110.111\ 1)_2 \text{ (去掉了最左边和最右边的 0)}$$

#### (4) 二进制数与十六进制数的相互转换

二进制数与十六进制数的相互转换，按照每四位二进制数对应于一位十六进制数进行转换，具体方法如下。

二进制转换为十六进制：四合一，以小数点为界，左右两边每四位为一组，不足四位需要补 0。

十六进制转换为二进制：一分为四，再去掉小数点左边最高位的 0 和小数点最右边最低位的 0。

$$0001\ 1101\ 0100.0110 = (1E8.6)_{16} \text{ (不足三位补 0)}$$

$$(8F4.76)_{16} = 100\ 1111\ 0100.0111\ 011 \text{ (去掉了最左边和最右边的 0)}$$

十进制要转换为八进制或十六进制时也可先转换为二进制，再转换成八进制或十六进制；八进制或十六进制转换为十进制时也可先转换为二进制再转换成十进制。

### 1.4.3 编码

用一定位数的二进制数来表示十进制数码、字母、符号等信息称为编码。

用以表示十进制数码、字母、符号等信息的一定位数的二进制数称为代码。

二-十进制代码 (Binary-Coded Decimal, BCD 码)：用 4 位二进制数  $b_3b_2b_1b_0$  来表示 1 位十进制数中的 0~9 十个数码，简称 BCD 码。BCD 码这种编码形式利用了 4 个位元来储存 1 个十进制的数码，使二进制和十进制之间的转换得以快捷地进行。同时，相对于一般的浮点式记数法，采用 BCD 码，既可保存数值的精确度，又可免去计算机做浮点运算时所耗费的时间。此外，对于其他需要高精度的计算，BCD 编码也很常用。

BCD 码可分为有权码和无权码两类：有权 BCD 码有 8421 码、2421 码、5421 码，其中 8421 码是最常用的；无权 BCD 码有余 3 码，余 3 循环码等，如表 1.1 所示。其中，8421 BCD 码是最基本和最常用的 BCD 码，它和四位自然二进制码相似，各位的权值为 8、4、2、1，故称为 8421 码。和四位自然二进制码不同的是，它只选用了四位二进制码中前 10 组代码，即用 0000~1001 分别代表它所对应的十进制数，余下的六组代码不用。通常所说的 BCD 码大都是指 8421BCD 码。

表 1.1 常用 BCD 码表

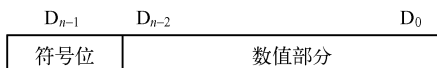
十进制数	8421 码	余 3 码	格雷码	2421 码	5421 码
0	0000	0011	0000	0000	0000
1	0001	0100	0001	0001	0001
2	0010	0101	0011	0010	0010
3	0011	0110	0010	0011	0011
4	0100	0111	0110	0100	0100
5	0101	1000	0111	1011	1000
6	0110	1001	0101	1100	1001
7	0111	1010	0100	1101	1010
8	1000	1011	1100	1110	1011
9	1001	1100	1101	1111	1100



## 1.4.4 计算机中数的表示

### 1. 带符号数的表示

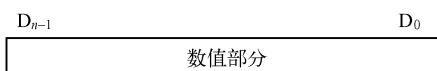
用最高位作为符号位，且用 0 表示正数，用 1 表示负数，其一般形式如下：



如：11001010 表示 -74(4AH)

### 2. 无符号数的表示

无符号数没有符号位，其全部的有效位都用来表示数的大小，一般形式如下：



如：11001010 表示 202(0CAH)

### 3. 原码、反码、补码

原码、反码和补码都是带符号数在机器中的表示方法。

模的概念：把一个计量器的容量称为模或模数，记为  $M$  或  $\text{mod } M$ 。如时钟表示 12 个钟点，则其模为 12；一个  $n$  位二进制计数器的计数容量为  $2^n$ ，则其模为  $2^n$ 。

模的性质：当模为  $2^n$  时， $2^n$  和 0 表示形式是相同的。如一个  $n$  位二进制计数器，可以从 0 计数到  $2^n - 1$ ，如果再加 1，计数器就变成了零。

#### (1) 原码

原码表示方法只要把真值的符号部分用 0 或 1 表示即可。例如：

$$N1 = +1001010$$

$$N2 = -1001010$$

则原码表示为：  $[N1]_{\text{原}} = 01001010$

$$[N2]_{\text{原}} = 11001010$$

#### (2) 反码

正数的反码与原码相同，对于负数，对原码中符号位以外的各位求反即得其反码。

#### (3) 补码

对于正数来说，补码与原码相同，对于负数，在其反码中加 1 即为其补码。

例如：-23(原码为-0010111)的补码为 11101001(E9H)

可以证明：两个补码形式的数（无论正负）相加，只要按二进制运算规则运算，得到的结果就是其和的补码。即有：

$$[X+Y]_{\text{补}} = [X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}}$$

补码的简便运算：对某绝对值为  $N$  的负数进行  $n$  位二进制求补码，可用  $2^n$  减  $N$  进行计算。如 -23(-17H)的补码（8 位）为  $100H - 17H = E9H$ 。

## 本章小结

冯·诺依曼提出了“存储程序”和“二进制运算”的思想，并构建了计算机是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备这五大部件组成的计算机经典结构。

将运算器、控制器以及各种寄存器集成在一块集成电路芯片上，组成中央处理器（CPU）或微处理器。微处理器配上存储器、输入/输出接口便构成了微型计算机。单片机是把微处理器、存储器（RAM 和 ROM）、输入输出接口电路以及定时器/计数器等集成在一起的集成电路芯片，它具有体积小、价格低、可靠性高和易于嵌入应用系统等特点，极适合作为智能仪器仪表和工业测控系统的前端装置。

80C51 系列单片机应用广泛，生产量大，在单片机领域内具有重要的影响，其他新型单片机产品的出现，使单片机领域出现了日新月异的景象。

单片机是为满足工业控制而设计的，具有良好的实时控制性能和灵活的嵌入品质，近年来仪器仪表、机电一体化产品、工业实时控制、分布系统的前端模块和家用电器领域都得到了极为广泛的应用。

计算机中常见的进位计数制有二进制（B）、十进制（D）、八进制（O 或 Q）、十六进制（H）。基数和位权是不同进位计数制的标识，也是相互转换的工具。用一定位数的二进制数来表示十进制数码、字母、符号等信息称为编码，常见的编码有 ASCII 码、BCD 码。计算机中数分为带符号数和无符号数，它们在计算机中表示数的范围不一样。带符号数在计算机中有多种编码形式，常见的有原码、反码和补码。

## 习题与思考题

### 一、选择题

1. 计算机中最常用的字符信息编码是（ ）。  
A. ASCII    B. BCD 码    C. 余 3 码    D. 循环码
2. 以下不是构成控制器部件的是（ ）。  
A. 程序计数器    B. 指令寄存器    C. 指令译码器    D. 存储器
3. 以下不是构成单片机部件的是（ ）。  
A. 微处理器（CPU）    B. 存储器  
C. I/O 接口电路    D. 打印机
4. 下列不属于单片机总线是（ ）。  
A. 地址总线    B. 控制总线    C. 数据总线    D. 输出总线
5.  $-49D$  的二进制补码为（ ）。  
A. 11101111    B. 11101101    C. 0001000    D. 11101100
6. 十进制 29 的二进制原码表示为（ ）。  
A. 11100010    B. 10101111    C. 00011101    D. 00001111
7. 十进制 0.625 转换成二进制数是（ ）。  
A. 0.101    B. 0.111    C. 0.110    D. 0.100

## 二、填空题

1. 十进制数 14 对应的二进制数表示为\_\_\_\_\_B, 十六进制数表示为\_\_\_\_\_D。十进制数-100 的补码为\_\_\_\_\_H, +100 的补码为\_\_\_\_\_H。
2. 在一个非零的无符号二进制整数的末尾加两个 0 后, 形成一个新的无符号二进制整数, 则新数是原数的\_\_\_\_\_倍。
3. 8 位无符号二进制数能表示的最大十进制数是\_\_\_\_\_。带符号二进制数 11001101 转换成十进制数是\_\_\_\_\_。
4. 可以将各种不同类型数据转换为计算机能处理的形式并输送到计算机中去的设备统称为\_\_\_\_\_。
5. 字符 D 的 ASCII 码是十六进制数\_\_\_\_\_, 字符 T 的 ASCII 码是十进制数\_\_\_\_\_。
6. 若某存储器容量为 640KB, 则表示该存储器共有\_\_\_\_\_个存储单元。
7. 设二进制数  $A=10101101$ ,  $B=01110110$ , 则逻辑运算  $A \vee B=$ \_\_\_\_\_,  $A \wedge B=$ \_\_\_\_\_,  $A \oplus B=$ \_\_\_\_\_。
8. 机器数 01101110 的真值是\_\_\_\_\_, 机器数 01011001 的真值是\_\_\_\_\_, 机器数 10011101 的真值是\_\_\_\_\_, 机器数 10001101 的真值是\_\_\_\_\_。

## 三、简答题

1. 将下列数转换为十进制数。
 

(1) 10011001B	(2) 10000111B	(3) 567Q
(4) 306Q	(5) 101H	(6) 3F8H
2. 把下列十进制数转换为二进制数和十六进制数。
 

(1) 135	(2) 0.625	(3) 47.6875
(4) 0.94	(5) 111.11	(6) 1995.12
3. 把下列二进制数转换为十进制数和十六进制数。
 

(1) 11010110B	(2) 1100110111B	(3) 0.1011B
(4) 0.10011001B	(5) 1011.1011B	(6) 1111000001111.11011B
4. 把下列十六进制数转换成十进制数和二进制数。
 

(1) AAH	(2) BBH	(3) C.CH
(4) DE.FCH	(5) ABC.DH	(6) 128.08H
5. 请写出下列各十进制数在 8 位定点整数机中的原码、反码和补码形式 (最高位为符号位)。
 

(1) $X=+38$	(2) $X=+46$	(3) $X=-54$	(4) $X=-115$
-------------	-------------	-------------	--------------
6. 先把下列各数变成 8 位二进制数 (含符号位), 然后按补码运算法则求  $[X+Y]_{补}$  及其真值。
 

(1) $X=+46$	$Y=+55$	(2) $X=+112$	$Y=-83$
(3) $X=+72$	$Y=+15$	(4) $X=-51$	$Y=+97$
7. 写出下列各数的 BCD 码。
 

(1) 47	(2) 59	(3) 1996	(4) 9999
--------	--------	----------	----------
8. 什么是单片机? 其主要特点有哪些?
9. MCS-51 系列单片机是哪年由哪个公司推出的? 它是多少位的单片机? 其内部包含哪些部件?