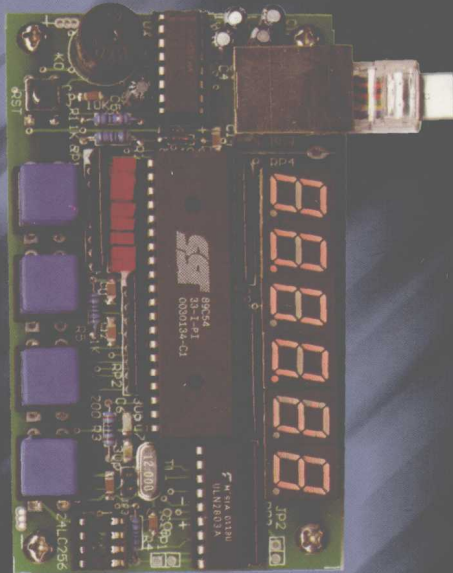


单片机原理及应用

—— C51 编程技术

编著 靳 桅 潘育山 邹芝权

汇编语言基础 C51编程技术 大量C51例程 扩展接口 IAP编程
完整IAP源程序 Keil使用说明



西南交通大学出版社

单片机原理及应用

——C51 编程技术

编著 靳桅 潘育山 邬芝权

江苏工业学院图书馆
藏书章

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机为主,介绍了单片机的工作原理及其基于 C 语言的开发及应用。内容涉及单片机的基础知识、硬件结构、指令系统、汇编程序设计、串行接口、定时器/计数器、中断及接口技术、C 语言程序设计、单片机的 C 语言程序开发环境、程序设计技巧及模块化程序设计的应用等,同时以 SST89C5X 系列单片机为例介绍了基于 C51 的 IAP 技术的单片机实验学习机实例。

本书配套有实验讲义及基于 IAP 技术的单片机实验板。内容由浅入深,自成系统,每章后有习题,特别适合作为高等院校计算机、自动化及电子技术类专业的教学参考书,也可作为工程技术人员设计开发时的技术资料。

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及应用——C51 编程技术 / 靳桅等编著.
—成都:西南交通大学出版社,2004.3
ISBN 7-81057-822-7

I. 单... II. 靳... III. 单片微型计算机
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 125311 号

单片机原理及应用 ——C51 编程技术

编著 靳桅 潘育山 邬芝权

*
责任编辑 黄淑文
封面设计 代咏秋

西南交通大学出版社出版发行
(成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行部电话:87600564)

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

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 15

字数: 360 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-822-7/TP · 328

定价: 20.00 元

前 言

随着现代科学技术的飞速发展，单片机已经在各个领域得到越来越广泛的应用。单片机由于具有体积小、功耗低两个最基本特征，在通信、家电、工业控制、仪器仪表、汽车等产品中都可以看到单片机的身影。单片机技术也随着集成电路技术的进步在近几年飞速发展，这种发展可以分为两个方面：一方面在硬件上单片机内部集成了越来越多的功能部件，如 A/D、D/A、PWM、WATCHDOG、LCD 驱动、串行口、大容量 Flash 存储器等；另一方面在开发手段上从汇编语言向高级 C 语言过渡，计算机仿真调试、IAP、ISP 技术的应用使单片机开发周期大大缩短，为各类产品更新、软件的升级提供了可靠的技术保障。在设计单片机应用系统时，由于历史原因，目前在国内仍然以 8051 系列单片机为主，但其他系列单片机如 PIC、AVR 等也得到越来越广泛的应用。

本书在介绍 8051 系列单片机硬件结构、汇编语言及单片机扩展技术的同时，着重介绍了 C51 编程技术及其应用。C51 是专门用于 8051 系列单片机编程的 C 语言，除一些基于描述单片机硬件的特殊部分外，可以说与标准 C 语言完全相同。C 语言是一种通用的计算机语言，它既可以用来编写系统程序，也可用来编写应用程序，它同时还具有汇编语言和高级语言的特点。在单片机开发中，以前基本上是使用汇编语言，也有使用 BASIC 等高级语言进行开发的。从 20 世纪 90 年代中期以后使用 C 语言开发单片机成为一种流行的趋势。因为它具有使用方便、编程效率高及仿真调试容易等突出特点。在 C51 应用方面以目前较为流行的 IAP 下载为例，结合作者的最新研究结果从硬件到源程序作了详细地介绍。IAP 技术为单片机开发、单片机软件在线升级提供了一种新的途径，同时也为读者自行开发单片机应用系统提供了一种选择和参考。

本书第一章、习题、附录由邬芝权编写；第三章、第四章、第五章、第七章由靳桅编写；第二章、第六章由潘育山编写。本书在编写过程中得到了江桦、翟旭、白海峰、张一鸣等老师的大力协助，在此表示最衷心地感谢。

由于作者水平有限，时间仓促，书中难免有许多错误和不妥之处，恳请广大读者原谅和批评指正。

作 者

2003 年 12 月于峨眉

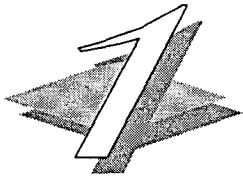
目 录

1 概 论	1
1.1 什么是单片机	1
1.2 单片机发展史及发展趋势	2
1.3 单片机产品简介	3
1.4 计算机基础知识	3
1.4.1 数 制	3
1.4.2 数制转换	5
1.4.3 编 码	6
1.4.4 计算机中数的表示	7
习 题	8
2 MCS-51 单片机系统结构	9
2.1 MCS-51 单片机基本结构原理	9
2.1.1 结构框图	9
2.1.2 MCS-51 系列单片机主要功能部件	9
2.1.3 8051 单片机内部结构框图及引脚功能	10
2.1.4 典型时钟电路和复位电路	12
2.1.5 中央处理器 CPU	12
2.1.6 8051 单片机 I/O 结构	14
2.2 MCS-51 存储器组织	15
2.2.1 MCS-51 存储器的配置	15
2.2.2 程序存储器	16
2.2.3 外部数据存储器空间	17
2.2.4 8051 单片机外接程序、数据存储器的典型应用	17
2.2.5 内部数据存储器空间	18
2.3 MCS-51 单片机特殊功能寄存器	21
2.3.1 特殊功能寄存器空间	21
2.3.2 常用特殊功能寄存器	22
2.3.3 特殊功能寄存器的位寻址	22
2.4 MCS-51 单片机定时器/计数器	23
2.4.1 定时器/计数器的结构	23

2.4.2	定时器/计数器的基本模型	24
2.4.3	定时器/计数器有关的特殊功能寄存器	25
2.4.4	定时器/计数器的工作方式	26
2.4.5	定时器/计数器 T2	30
2.4.6	定时器/计数器的应用	33
习题	34
3	指令系统	35
3.1	指令格式	35
3.2	伪指令	36
3.3	寻址方式	37
3.4	指令类型	39
3.4.1	数据传送类指令	39
3.4.2	算术运算类指令	44
3.4.3	逻辑运算类指令	49
3.4.4	位操作类指令	51
3.4.5	控制转移类指令	53
3.5	汇编程序设计	57
3.5.1	三种基本程序结构	57
3.5.2	程序设计步骤	59
习题	61
4	中断系统及串行口	64
4.1	中断系统	64
4.1.1	中断系统	64
4.1.2	中断源和中断标志	66
4.1.3	中断应用举例	71
4.2	串行口	76
4.2.1	串行口	76
4.2.2	串行接口的组成和特性	77
4.2.3	串行接口的工作方式	81
4.2.4	串行口应用举例	83
习题	86
5	C51 应用基础	88
5.1	Keil C51 简介	88
5.2	C51 程序设计基础知识	89
5.2.1	C51 特点	89
5.2.2	一个简单的 C51 例子	89

5.2.3	C51 的基础知识	90
5.2.4	存储空间定义	90
5.2.5	C51 数据类型	91
5.2.6	C51 存储空间的定义	93
5.2.7	C51 的常量	93
5.2.8	C51 的常用运算符	94
5.2.9	C51 表达式	98
5.2.10	C51 的基本语句	100
5.3	C51 的函数与数组	105
5.3.1	函数的定义	106
5.3.2	数 组	107
5.4	C51 的编程规范	110
5.5	C51 基本应用	112
5.5.1	8051 I/O 口字节操作应用	112
5.5.2	8051 I/O 口位操作应用	113
5.5.3	8051 计数器应用	113
5.5.4	8051 外部中断应用	114
5.5.5	8051 串行口中断应用	115
5.5.6	8051 访问外部数据存储器的应用	116
	习 题	117
6	单片机系统扩展技术	119
6.1	MCS-51 系统扩展原理	119
6.1.1	MCS-51 单片机用于扩展的端口及控制线	119
6.1.2	CPU 读外部程序存储器及读写外部数据存储器 (I/O 口) 时序	119
6.1.3	MCS-51 系统扩展	121
6.1.4	MCS-51 单片机常用系统扩展芯片	122
6.2	程序存储器的扩展	123
6.2.1	常用程序存储器 EPROM	123
6.2.2	MCS-51 程序存储器扩展	125
6.3	数据存储器的扩展	127
6.3.1	静态 RAM (SRAM) 及其扩展	127
6.3.2	EEPROM (E ² PROM) 及其扩展	129
6.4	单片机扩展外部存储器地址空间分配	131
6.4.1	线选法	132
6.4.2	全地址译码法	133
6.5	并行接口的扩展	135
6.5.1	可编程并行接口芯片 8255	135
6.5.2	可编程并行接口芯片 8155	142

6.6 D/A 变换	147
6.6.1 D/A 变换的基本原理	147
6.6.2 D/A 变换器 DAC0832	149
6.7 A/D 接口的扩展	155
6.7.1 A/D 变换的原理	155
6.7.2 逐次逼近型 A/D 变换器 ADC0809	156
6.8 键盘接口	160
6.8.1 键盘的工作原理	161
6.8.2 单片机对非编码键盘的扫描	163
6.9 显示器接口	167
6.9.1 LED 显示器	167
6.9.2 显示器接口	168
习 题	172
7 SST89C5X 系列单片机 IAP 技术的开发及应用	173
7.1 SST89C5X 系列单片机简介	173
7.2 SST89C5X 系列单片机专用特殊功能寄存器	175
7.2.1 与 IAP 编程有关的特殊功能寄存器	175
7.2.2 与看门狗操作有关的特殊功能寄存器	177
7.3 基于 C51 的快速 IAP 编程模块	178
7.4 基于 C51 的 IAP 实例	179
7.4.1 下载代码 Hex 文件	179
7.4.2 基于 C51 的 IAP 下载实例—IAP 单片机实验学习板	180
附录 1 ASCII 码表	198
附录 2 MCS-51 单片机常用资料	199
附录 3 C51 中的关键字	209
附录 4 Keil C51 编译器使用简介	211
附录 5 C51 常用库函数	219
附录 6 常用芯片引脚图	228
参考文献	232



概 论

1.1 什么是单片机

进入 21 世纪，以计算机为代表的 IT 产业迅速发展，各类计算机的应用在工业、农业、国防、科研及日常生活等各个领域发挥着越来越重要的作用，成为当今世界各国工业发展水平的重要标志之一。

自从世界上第一台电子计算机问世以来，计算机的发展日新月异，短短的几十年间，已由电子管数字计算机发展到今天的超大规模集成电路计算机，运算速度由每秒 5 000 次提高到今天的每秒上百亿次。近年来，计算机一方面向着高速、智能化的超级巨型机方向发展，另一方面向着微型机的方向发展。图 1-1 为计算机的分类。

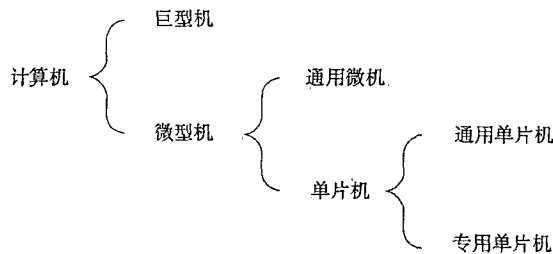


图 1-1 计算机分类

什么是单片机呢？首先让我们通过图 1-2 来了解一下微型计算机的组成。

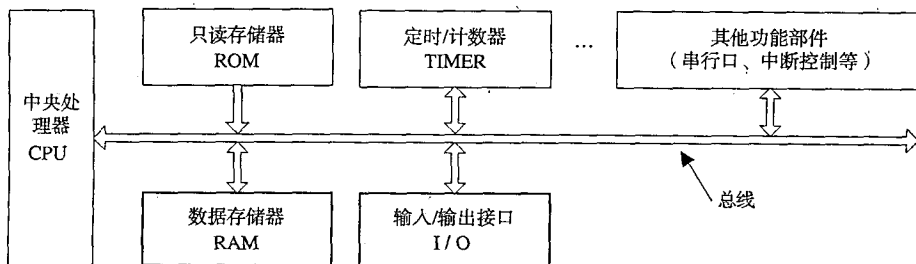


图 1-2 微型计算机的组成

单片机是单片微型计算机 (Single-Chip Microcomputer) 的简称，它在一个芯片上集成了中央处理器 (CPU)、只读存储器 (ROM)、输入/输出接口、定时器/计数器及其他一

些功能部件（如 A/D、D/A 转换器等）。总之，一个单片机就相当于一台微型计算机。不过由于其所有部件是集成在一个芯片上，所以单片机 CPU 的运算能力、RAM/ROM 的容量、I/O 口的功能及通用性等都不能与微型计算机相比。总体来说，单片机可用以下“表达式”来表示

$$\text{单片机} = \text{CPU} + \text{ROM} + \text{RAM} + \text{I/O} + \text{功能部件}$$

单片机既然不如微型计算机，那么是否可以用微型计算机代替单片机呢？答案是否定的。在您的生活中到处都有单片机的影子，如 VCD 机、手机、微波炉、空调、自动洗衣机以及汽车上的电子设备等基本上都是由单片机控制的。如果上述设备都是由微型计算机控制的，那么在那些设备旁边都将放着一台微型计算机。单片机 2 个最基本的特征是：体积小、功耗低。正是由于这 2 个最基本特征使单片机得到了非常广泛的应用。

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 3 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 CPU 功能不强，I/O 口种类和数量很少，其 ROM/RAM 也很有限，只能应用于比较简单的场合。例如，20 世纪 90 年代中期以前的 PC 机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 年以后）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很强的 CPU，较多 I/O 口种类和数量，而且具有容量较大的 ROM 和 RAM 及种类繁多的功能部件。

20 世纪 90 年代后期至今，单片机的发展可以说是进入了一个新的阶段，其发展趋势主要有以下几个方面：

① 大容量化：传统的单片机片内程序存储器一般为 1~8 KB，片内数据存储器为 256 字节以下。在某些复杂的应用上，片内程序存储器和数据存储器都显得容量不够，必须采用外接方式进行扩充。而新型单片机（例如 PHILIPS P89C66x）片内程序存储器可达 64 KB，片内数据存储器可达 8 KB。今后，随着工艺技术的不断发展，单片机片内存储器容量将进一步扩大。

② 高性能化：主要是指进一步提高 CPU 的性能，加快指令运算速度，并加强了位处理功能和中断、定时功能。其主频从 4~12 MHz 向 40 MHz 以上发展；同时采用流水线结构，让指令以队列形式出现在 CPU 中，从而进一步提高运算速度。有的单片机基本采用了多流水线结构，这类单片机的运算速度要比标准的单片机高出 10 倍以上。

③ 外围电路内装化：这也是单片机发展的一个主流方向。集成度的不断提高，使得将各种功能器件集成在片内成为可能。除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器外，片内还可以根据需要集成如串行口、A/D、D/A，EEPROM、PWM、看门狗（Watch Dog）、液晶显示（LCD）驱动器等多种功能部件。

④ 增强 I/O 口功能：为了减少外部驱动芯片，进一步增加单片机并行口的驱动能力，现在有的单片机可直接输出较大电流（20 mA）和较高电压，以便直接驱动显示器。为进一步加快 I/O 的传输速度，有的单片机设置了高速 I/O 口，能以最快的速度捕捉外部数据的变化，同时以最快的速度向片外输出数据，以适合数据高速改变的场合。

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、功耗更低的方向发展；另一方面向 32 位以上及双 CPU 方向发展。

1.3 单片机产品简介

自从单片机问世以来，在近 30 年中已有众多的单片机系列产品相继诞生。现仅列出部分国际上有一定知名度的公司的产品：

仙童（Fairchild）公司和 Mostek 公司的 F8、3870 系列产品；

NEC 公司的 μ COM-87 系列产品；

Microchip 公司的 PIC 系列；

Rockwell 公司的 6500、6501 系列产品；

Motorola 公司的 6801、6802、6803、6805、68HC11 系列产品；

Intel 公司的 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列产品。

在我国，虽然上述产品均有引进，但由于各种原因，至今我国所应用的单片机仍然是以 MCS-51 及与其兼容的 8 位单片机为主流系列。随着这一系列的深入开发，其主导地位将得到进一步巩固。同时 Microchip 公司的 PIC 系列、ATMEL 公司的 AVR 系列也得到越来越广泛地应用。

1.4 计算机基础知识

1.4.1 数制

1) 进位制

一个十进制数 982.12 ，数的每一位只能取（0，1，…，9）10 个不同的数字，对于十进制数 $(982.12)_{10}$ 可以展开表示为

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

一个八进制数 713.01，数的每一位只能取 (0, 1, ..., 7) 8 个不同的数字，对于八进制数 $(713.01)_8$ 可以展开表示为

$$(713.01)_8 = 7 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 1 \times 8^{-2}$$

一个十六进制数 A0.8F，数的每一位只能取 (0, 1, ..., 9, A, B, C, D, E, F) 16 个不同的数字 (其中，A 代表 10, B 代表 11, ..., F 代表 15)，对于十六进制数 $(A0.8F)_{16}$ 可以展开表示为

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

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 $(11011.01)_2$ 可以展开表示为

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

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 $\{0, 1, 2, \dots, r-1\}$ (不出现 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

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

其中， r 称为基数； r^j 称为对应于某一位的权。

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称为进位计数制，简称进位制。

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，即 $9 + 1 = 10$ ($10 = 1 \times 10^1 + 0 \times 10^0$)

十进制数的权展开式如下：

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

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，即 $1 + 1 = 10$ ($10 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$)

二进制数的权展开式如下：

$$(101.01)_B = (101.01)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (5.25)_{10}$$

4) 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，即 $F + 1 = 10$ ($10 = 1 \times 16^1 + 0 \times 16^0$)

十六进制数的权展开式如下：

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

1.4.2 数制转换

将 N 进制数按权展开，即可以转换为十进制数。

1) 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 4 位二进制数对应于 1 位十六进制数进行转换。

$$\begin{aligned} 0001\ 1101\ 0100.0110 &= (1E8.6)_{16} \\ (AF4.76)_{16} &= 1010\ 1111\ 0100.0111\ 0110 \end{aligned}$$

2) 十进制数转换为二进制数

原理：将整数部分和小数部分分别进行转换。

采用的方法为基数连除、连乘法。整数部分采用基数连除法，小数部分采用基数连乘法，转换后再合并。

例 1 将十进制数 44.375 转换为二进制数。

首先，整数部分采用基数连除法，先得到的余数为低位，后得到的余数为高位，如图 1-3 所示。然后，小数部分采用基数连乘法，先得到的整数为高位，后得到的整数为低位，如图 1-4 所示。

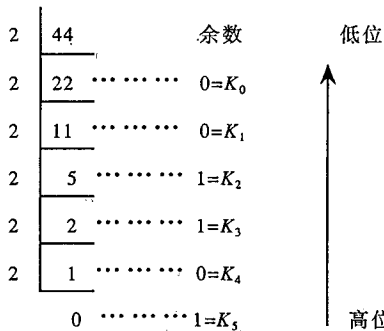


图 1-3 基数连除法示意图

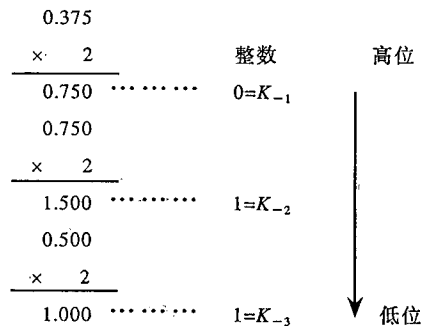


图 1-4 基数连乘法示意图

所以 $(44.375)_{10} = (101100.011)_2$

采用基数连除、连乘法，可将十进制数转换为任意的 N 进制数。

十进制整数转换为二进制数的简便方法：如果十进制小于 256，则将该十进制数除以 16，得到的商为二进制的高 4 位，余数为二进制的低 4 位；如果十进制小于 65536，则将该十进制数除以 256，得到的商为二进制的高 8 位，余数为二进制的低 8 位。

例 2 252 转换为二进制数和十六进制数。

该转换步骤如图 1-5 所示。因此：

$$252 = FCH = 1111\ 1100B$$

例 3 55555 转换为二进制数和十六进制数。

该转换步骤如图 1-6 所示。因此：

$$55555 = D903H = 1101100100000011B$$

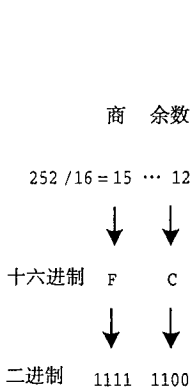


图 1-5 例 2 转换图

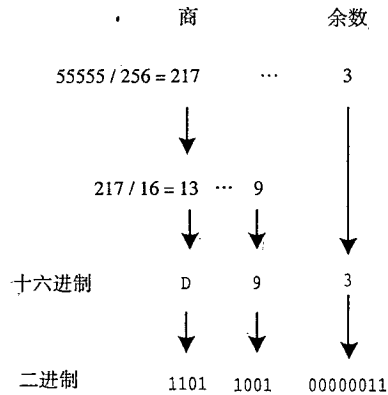


图 1-6 例 3 转换图

3) 十进制、二进制、十六进制数的相互转换

十进制要转换为十六进制时可先转换为二进制，然后再转换成十六进制，也可以直接转换；十六进制转换为十进制时可先转换为二进制再转换成十进制或者直接转换。

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。

1) ASCII 码

ASCII 码是国际标准化组织 ISO 规定采用的美国标准信息交换码 (American Standard Code For Information Interchange)。作为字符编码的标准，ASCII 码规定基本字符集 (基本 ASCII 码) 的高位为 0，因此，ASCII 码只有 2 的 7 次方即 128 个，从 0 ~ 127，其中 0 ~ 31 为控制码 (NUL, LF, ESC 等)，32 ~ 126 为显示、打印字符 (*, =, A, a 等)，127 为删除符 DEL。扩展 ASCII 码高位一律为 1，其范围为 128 ~ 255，共 128 个。ASCII 码表见附录 1。

2) 二—十进制代码

二—十进制代码是用 4 位二进制数 $b_3b_2b_1b_0$ 来表示 10 进制数中的 (0 ~ 9) 10 个数码，简称 BCD 码。

用 4 位自然二进制码中的前 10 个码字来表示十进制数码，因各位的权值依次为 8、4、2、1，故称 8421 BCD 码。常用的 BCD 码如表 1-1 所示。

表 1-1 常用的 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

续表 1-1

十进制数	8421 码	余 3 码	格雷码	2421 码	5421 码
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
权	8421			2421	5421

1.4.4 计算机中数的表示

1) 有符号数的表示

用最高位作为符号位，且用 0 表示正数，用 1 表示负数，其一般形式如图 1-7。



图 1-7 有符号数的表示

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，一般形式如图 1-8。

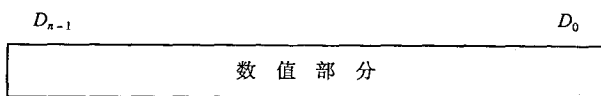


图 1-8 无符号数的表示

如：11001010 表示 202 (CAH)。

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：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 0。

(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。

如： $N_1 = +1001010$ ， $N_2 = -1001010$ ，

则原码记为: $[N_1]_{\text{原}} = 01001010$, $[N_2]_{\text{原}} = 11001010$ 。

(2) 反码: 对原码各位求反 (符号位除外), 即得反码。

如: $N_1 = 00010101$, $N_2 = 10010100$,

则原码记为: $[N_1]_{\text{反}} = 01101010$, $[N_2]_{\text{反}} = 11101011$ 。

(3) 补码: 补码表示的有符号数, 对于正数来说同原码、反码一样, 但负数的数值位部分为其绝对值按位取反后末位加 1 所得。

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 的数进行 n 位二进制求补, 可令 n 位全为 1, 再减 N 加 1, 则得补码。如: -23 ($-17H$) 的补码 (八位) 为 $FFH - 17H + 1 = E9H$ 。

习 题

1. 将下列各二进制数转换为十进制数。

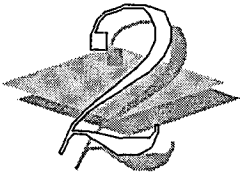
① $11010B$ ② $110100B$ ③ $10101011B$ ④ $11111B$

2. 将上道题中各二进制数转换为十六进制数。

3. 将下列各数转换为十六进制数。

① $129D$ ② $253D$ ③ $01000011B$ ④ 5462 ⑤ 157 ⑥ $34567D$

4. 什么叫原码、反码及补码? 举例加以说明。



MCS-51 单片机系统结构

2.1 MCS-51 单片机基本结构原理

2.1.1 结构框图

MCS-51 是 Intel 公司最早推出的 51 系列单片机，其代表产品主要有 8051 和 8052 系列，其中以 8051 系列单片机最为经典。因此，以后所有兼容 8051 的单片机一般简称为 51 系列单片机。8051 单片机主要由 8 个基本部件组成，即微处理器（CPU）、数据存储器（RAM）、程序存储器（ROM/EPROM）、I/O 口（P0 口、P1 口、P2 口、P3 口）、串行口、定时器/计数器、中断系统及特殊功能寄存器（SFR）。它们都是通过内部总线进行连接。

由于生产厂家和型号的不同，单片机内部数据存储器的大小、程序存储器的类型、串行口及定时器/计数的数量与功能、特殊功能寄存器数量都会有一些差异，但 51 系列单片机的总体基本结构是一致的。51 系列单片机基本结构如图 2-1 所示。

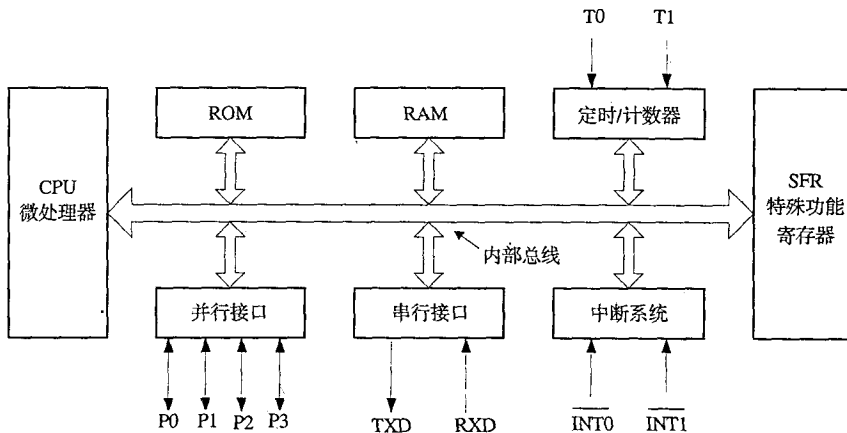


图 2-1 MCS-51 系列单片机基本结构框图

2.1.2 MCS-51 系列单片机主要功能部件

8051/8052 系列单片机主要包括以下功能部件：

- 8 位的 CPU；