

21世纪大学计算机专业教材

# 单片机原理 与C51编程

宋彩利 孙友仓 吴宏岐 编著



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



21世纪大学计算机专业教材

TP368.1/448

2008

# 单片机原理 与C51编程

宋彩利 孙友仓 吴宏岐 编著



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

本书以 MCS-51 单片机为主线,介绍单片机的基本原理和应用,以 C51 为编程语言说明单片机内部控制方法。主要包括 MCS-51 内部结构、C51 编程方法和上机环境介绍、最小系统和扩展系统的设计及程序控制方法、应用实例等内容。本书从实用角度出发,力图做到理论与实际相结合,缩小学校讲授与实际项目开发的距离,使学生学完单片机后能尽快地参加到实际项目的开发中。

本教材可作为计算机科学与技术、通信工程和网络工程《单片机原理与应用》的教科书,也可用做所有工科专业的单片机课程的教材。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与 C51 编程/宋彩利,孙友仓,吴宏岐编著. —西安:西安交通大学出版社,2008.6

ISBN 978-7-5605-2748-2

I. 单… II. ①宋…②孙…③吴… III. 单片微型计算机-C 语言-程序设计 IV. TP368.1 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 045289 号

---

书 名 单片机原理与 C51 编程  
编 著 宋彩利 孙友仓 吴宏岐  
责任编辑 屈晓燕 贺峰涛

---

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>

电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)

(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280

印 刷 陕西友盛印务有限责任公司

---

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 13 字数 315 千字

版次印次 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5605-2748-2/TP·508

定 价 22.00 元

---

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy31@126.com

版权所有 侵权必究

## 前 言

目前介绍单片机原理的书籍很多,但基本上都是以汇编语言作为编程语言,学生学习的难度较大。目前单片机系统应用项目的开发基本上是用 C51 进行编程,这样学生毕业后,如果从事单片机系统开发,很长时间不能掌握系统开发环境和开发方法。为尽快与应用接轨,为学生就业打下基础,我们编写了《单片机原理与 C51 编程》。本书以 MCS-51 单片机为主线,介绍单片机的基本原理和应用,以 C51 为编程语言说明单片机内部控制方法,主要包括 MCS-51 内部结构、C51 编程方法和上机环境介绍、最小系统和扩展系统的设计及程序控制方法、应用实例等内容。用 C51 为编程语言有以下优点:

(1) C51 与 C 语言有很多相同点,并且大专院校都开设 C 语言课程,这给教学和学生学习带来很大方便。

(2) 利用 C51 进行教学与目前单片机系统开发方法一致,学生工作后很容易适应。

(3) 以 C51 作为编程环境,实验环境可以得到改善,可以在 PC 机上安装模拟和仿真环境,既可以进行模拟调试,也可进行系统仿真,解决了以往大部分学校用实验板作实验时,系统稳定性差、与实际项目开发环境差别大等缺点。

本书由西安石油大学的宋彩利老师、孙友仓老师和宝鸡文理学院的吴宏岐老师共同编写,由宋彩利老师进行统稿和程序的模拟与仿真。本书的编者长期以来一直从事单片机课程的教学和科研工作,主编过《单片机原理及应用》等教材。本书从实用角度出发,力图做到理论与实际相结合,缩小学校讲授与实际项目开发的距离,使学生学完单片机后能尽快参加到实际项目的开发中。书中收集了许多单片机应用项目中的具体实例,给出了电路图和对应程序,这些内容都经过了软件模拟和实际仿真调试。

全书包括 11 章,第 1 章绪论,主要介绍了单片机的发展、技术特点、应用情况、选型原则和应用系统的开发过程;第 2 章单片机的硬件结构和原理,对单片机的内部结构和工作原理进行了剖析;第 3 章 C51 程序设计,介绍了标准 C 与 C51 的相同点和不同点,对 C51 中增设的功能进行了举例说明;第 4 章 MCS-51 最小应用系统设计,以常用实例介绍了单片机最小应用系统的控制思想、电路设计和控制程序;第 5 章中断系统,介绍了中断的概念及单片机中的中断特点、控制方法和中断服务程序的编写方法;第 6 章定时/计数器,介绍了单片机中定时/计数器的内部结构、工作原理、工作方式和编程应用方法;第 7 章串行通信,介绍了单片机中串行口的内部结构、工作原理、工作方式和编程应用方法;第 8 章单片机系统扩展,主要介绍了各类存储器的扩展方法和外设的扩展方法,并举例说明了扩展系统的编程方法;第 9 章模拟通道技术,介绍了输入通道和输出通道技术、应用和编程方法;第 10 章单片机应用系统实例,列举了单片机应用项目中常用的也是比较典型的例题,希望能起到抛砖引玉的作用;第 11 章单片机开发环境介绍,以图解的形式介绍了目前比较流行的 Keil 软件,给大家提供一个验证程序和调试系统的平台。

尽管我们作了很大努力,力争为读者提供一些单片机应用系统的开发经验,但由于编者水平有限,有可能出现错误或考虑不周之处,请读者提出宝贵意见。

编 者



# 目 录

第 1 章 绪论	(1)	3.4.8 条件运算符	(30)
1.1 单片机的发展概况	(1)	3.4.9 指针与地址运算符	(30)
1.2 单片机发展的技术特点	(2)	3.4.10 强制类型转换运算符	(30)
1.3 单片机的应用	(3)	3.4.11 sizeof 运算符	(30)
1.4 单片机选型	(4)	3.5 C51 程序基本结构	(31)
1.5 单片机应用系统的开发过程	(4)	3.6 C51 的输入输出	(32)
第 2 章 MCS-51 单片机的硬件结构和原理	(6)	3.6.1 格式输出函数 printf()	(32)
2.1 MCS-51 单片机内部结构	(6)	3.6.2 格式输入函数 scanf()	(33)
2.2 中央处理器 CPU	(6)	3.7 C51 的基本语句	(34)
2.2.1 运算器	(6)	3.7.1 表达式语句	(34)
2.2.2 控制器	(7)	3.7.2 复合语句	(35)
2.3 存储器结构	(8)	3.7.3 if 语句	(35)
2.3.1 程序存储器	(8)	3.7.4 开关语句	(36)
2.3.2 数据存储器	(8)	3.7.5 while 语句	(37)
2.4 MCS-51 单片机对外引脚	(11)	3.7.6 do while 语句	(38)
2.5 复位与掉电保护	(12)	3.7.7 for 语句	(39)
2.6 时钟电路与工作时序	(14)	3.7.8 循环的嵌套	(40)
2.7 单片机最小系统	(15)	3.7.9 break 和 continue 语句	(41)
第 3 章 C51 程序设计	(16)	3.7.10 return 语句	(42)
3.1 C51 程序结构	(16)	3.8 函数	(42)
3.1.1 C51 结构特点	(16)	3.8.1 函数的定义	(42)
3.1.2 C51 与标准 C 的区别	(17)	3.8.2 函数的调用与声明	(44)
3.2 C51 的数据类型	(17)	3.8.3 函数的嵌套与递归	(46)
3.3 C51 的运算量	(20)	3.9 C51 的构造数据类型	(47)
3.3.1 常量	(20)	3.9.1 数组	(47)
3.3.2 变量	(21)	3.9.2 指针	(50)
3.3.3 存储模式	(24)	3.9.3 结构体	(52)
3.3.4 绝对地址的访问	(25)	3.9.4 共用体	(54)
3.4 C51 的运算符及表达式	(27)	3.9.5 枚举	(56)
3.4.1 赋值运算符	(27)	3.10 预处理命令	(57)
3.4.2 算术运算符	(27)	第 4 章 MCS-51 最小应用系统设计	(59)
3.4.3 关系运算符	(27)	4.1 流水灯设计	(59)
3.4.4 逻辑运算符	(28)	4.2 波形产生	(62)
3.4.5 位运算符	(28)	4.3 步进电机控制	(64)
3.4.6 复合赋值运算符	(29)	4.4 LED 显示	(66)
3.4.7 逗号运算符	(29)	4.5 发声控制	(69)
		4.6 键盘设计	(70)

<b>第 5 章 中断系统</b> .....	(76)	8.2.6 扩展存储器的编程应用 .....	(122)
5.1 中断的概念及涉及的问题 .....	(76)	8.3 I/O 接口的扩展 .....	(123)
5.1.1 中断的概念 .....	(76)	8.3.1 并行输入/输出接口 8255A .....	(124)
5.1.2 中断系统涉及的问题 .....	(76)	8.3.2 带有 RAM 和定时/计数器的并	
5.1.3 计算机采用中断系统的优点 .....	(77)	行 I/O 接口 8155 .....	(130)
5.2 MCS-51 中断控制系统 .....	(78)	8.4 扩展系统的应用举例 .....	(134)
5.2.1 MCS-51 的中断源与中断请求		<b>第 9 章 模拟通道技术</b> .....	(138)
标志 .....	(78)	9.1 概述 .....	(138)
5.2.2 中断控制 .....	(79)	9.2 传感器 .....	(139)
5.3 多外部中断源系统设计 .....	(82)	9.2.1 拉力传感器 .....	(139)
<b>第 6 章 定时/计数器</b> .....	(85)	9.2.2 热电偶 .....	(139)
6.1 定时/计数器的内部结构 .....	(85)	9.2.3 光敏(红外)传感器 .....	(140)
6.1.1 定时/计数器的工作原理 .....	(85)	9.3 模拟信号输入通道 .....	(142)
6.1.2 方式寄存器 TMOD .....	(86)	9.3.1 模拟信号的放大与整形 .....	(142)
6.1.3 启/停控制寄存器 TCON .....	(87)	9.3.2 采样保持器 .....	(144)
6.2 定时/计数器的工作方式 .....	(87)	9.3.3 多路转换开关 .....	(145)
6.3 定时/计数器编程举例 .....	(90)	9.3.4 A/D 转换器的工作原理与使用	
6.3.1 定时/计数器的初始化 .....	(90)	.....	(147)
6.3.2 编程举例 .....	(92)	9.4 模拟信号输出通道 .....	(152)
<b>第 7 章 串行通信</b> .....	(98)	9.4.1 D/A 转换器的工作原理与使用	
7.1 基本概念 .....	(98)	.....	(152)
7.1.1 并行通信与串行通信 .....	(98)	9.4.2 开关信号输出电路 .....	(157)
7.1.2 串行通信的两种基本方式 .....	(99)	9.4.3 模拟信号输出电路 .....	(158)
7.1.3 串行通信中数据的传送方向		9.5 光电隔离技术 .....	(159)
.....	(100)	9.5.1 晶体管输出型光电耦合器 .....	(159)
7.2 MCS-51 单片机串行口 .....	(101)	9.5.2 晶闸管输出型光电耦合器 .....	(160)
7.2.1 MCS-51 串行口功能 .....	(101)	9.6 V/F 与 F/V 转换电路 .....	(160)
7.2.2 MCS-51 串行口寄存器 .....	(102)	9.6.1 V/F 转换电路 .....	(160)
7.2.3 串行口工作方式 .....	(103)	9.6.2 F/V 转换电路 .....	(163)
7.2.4 串行口的波特率 .....	(104)	<b>第 10 章 单片机应用系统实例</b> .....	(165)
7.3 串行口编程举例 .....	(105)	10.1 电阻表的设计 .....	(165)
7.3.1 串行口的初始化编程 .....	(105)	10.2 交通灯控制系统设计 .....	(168)
7.3.2 串行口的应用 .....	(105)	10.3 电子表设计 .....	(171)
<b>第 8 章 单片机系统扩展</b> .....	(115)	10.4 简易电子琴设计 .....	(178)
8.1 外部总线的扩展 .....	(115)	10.5 直流电机控制系统设计 .....	(181)
8.1.1 外部总线的形成 .....	(115)	10.6 恒温控制系统设计 .....	(183)
8.1.2 总线锁存器 .....	(116)	<b>第 11 章 单片机开发环境介绍</b> .....	(190)
8.2 存储器扩展 .....	(117)	11.1 Keil 简介 .....	(190)
8.2.1 程序存储器的扩展 .....	(118)	11.2 Keil $\mu$ vision 的安装与运行 .....	(190)
8.2.2 程序存储器的扩展举例 .....	(118)	11.3 C51 应用程序的建立、编译、链接与	
8.2.3 数据存储器的扩展 .....	(120)	调试 .....	(191)
8.2.4 外部数据存储器的扩展举例 .....	(121)	<b>参考文献</b> .....	(202)
8.2.5 外部程序/数据共用存储器 .....	(122)		



# 第 1 章 绪论

单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)简称为单片机,又称微控制器(Microcontroller Uint)。是指在一块芯片上集成了中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、程序存储器(ROM、EPROM 或 E<sup>2</sup>PROM)、定时/计数器、并行 I/O 接口、中断控制器和串行接口等部件而构成的微型计算机系统。目前,新型的单片机内还有 A/D 和 D/A 转换器、DMA 通道、显示驱动电路等特殊功能部件。随着技术的发展,单片机片内集成的功能越来越强,并朝着 SoC(片上系统)方向发展。

## 1.1 单片机的发展概况

单片机诞生至今已有 20 多年的历史,通常按数据总线的位数将单片机分为 4 位机、8 位机、16 位机和 32 位机。

### 1. 4 位单片机

单片机的开发和应用是从 4 位机开始的,表示它每次可并行运算或传送 4 位二进制数据,由于 4 位单片机内部结构简单、价格便宜、功能灵活,至今仍有一定的市场需求,不断有功能增加的 4 位机问世。目前,4 位单片机以美国 National Semiconductor 公司的 COP402 和日本电气 NEC 公司的 Mpd75xx 为主。

4 位单片机既有相当大的数据处理能力,又有一定的控制能力。4 位单片机的典型应用领域有:PC 机用的输入装置(鼠标、游戏杆)、电池充电器(Ni-Cd 电池、锂电池)、运动器材、带液晶显示的音、视频产品控制器、一般家用电器的控制及遥控器、电子玩具、记时器、时钟、计算器、多功能电话、LCD 游戏机等。

### 2. 8 位单片机

8 位单片机是目前品种最为丰富、应用最为广泛的单片机,有着体积小、功耗低、功能强、性能价格比高、易于推广应用等显著优点,被广泛应用于自动化装置、智能仪器仪表、过程控制、通信、家用电器等许多领域。随着价格的不断下降,8 位单片机仍然会活跃在单片机的舞台上。

目前,8 位单片机主要分为 MCS-51 系列及其兼容机型和非 MCS-51 系列单片机。MCS-51 兼容产品因开发工具及软、硬件资源齐全而占主导地位,ATMEL、PHILIPS、WIN-BOND 是 MCS-51 单片机生产的老牌厂家,CYGNAL 及 ST 也推出新的产品,其中 ST 新推出的  $\mu$ PSD 系列,片内有大容量 FLASH(128/256KB)、8/32KB 的 SRAM、集成 A/D、看门狗、上电复位电路、两路 UART、支持在系统编程 ISP 及在应用中编程 IAP 等诸多先进特性,迅速

被广大 MCS-51 系列单片机用户接受。非 MCS-51 系列单片机在中国应用较广的有 MOTOROLA 68HC05/08 系列、MICROCHIP 的 PIC 单片机以及 ATMEL 的 AVR 单片机。

### 3. 16 位单片机

16 位单片机操作速度及数据吞吐能力在性能上比 8 位机有较大提高。目前以 INTEL 的 MCS-96/196 系列、TI 的 MSP430 系列及 MOTOROLA 的 68HC11 系列为主。

16 位单片机主要应用于工业控制、智能仪器仪表、便携式设备等场合。其中 TI 的 MSP430 系列以其超低功耗的特性广泛应用于低功耗场合。

### 4. 32 位单片机

32 位单片机是单片机的发展趋势,随着技术发展及开发成本和产品价格的下降将会与 8 位机并驾齐驱。生产 32 位单片机的厂家与 8 位机的厂家一样多。MOTOROLA、TOSHIBA、HITACH、NEC、EPSON、MITSUBISHI、SAMSUNG 群雄割据,其中以 32 位 ARM 单片机及 MOTOROLA 的 MC683xx、68K 系列应用相对广泛。

## 1.2 单片机发展的技术特点

从 20 年来单片机发展历程可以看出,单片机技术的发展以微处理器(MPU)技术及超大规模集成电路技术的发展为先导,以广泛的应用领域拉动,表现出以下技术特点:

### 1. 单片机长寿命

这里所说的长寿命,一方面指用单片机开发的产品可以稳定可靠地工作十年、二十年,另一方面是指与微处理器相比的长寿命。MPU 更新换代的速度越来越快,以 386、486、586 为代表的 MPU,几年内就被淘汰出局,而传统的单片机如 8051、68HC05 等已应用二十多年,产量仍是上升的。一些上市的相对年轻的单片机,也会随着 I/O 功能模块的不断丰富,有着相当长的生存周期。

### 2. 8 位、32 位单片机共同发展

8 位、32 位单片机共同发展这是当前单片机技术发展的另一动向。长期以来,单片机技术的发展是以 8 位机为主的。随着移动通讯、网络技术、多媒体技术等高科技产品进入家庭,32 位单片机应用得到了长足、迅猛的发展。

### 3. 单片机速度越来越快

为提高单片机抗干扰能力、降低噪声、降低时钟频率而不牺牲运算速度是单片机技术发展之追求。一些 8051 单片机兼容厂商改善了单片机的内部时序,在不提高时钟频率的条件下,使运算速度提高了很多,Motorola 单片机则使用了锁相环技术或内部倍频技术使内部总线速度大大高于时钟振荡器的频率。68HC08 单片机使用 4.9MHz 外部振荡器而内部时钟达 32M。三星电子新近推出了 1.2GHz 的 ARM 处理器内核 Halla。

### 4. 低电压与低功耗

几乎所有的单片机都有 Wait、Stop 等省电运行方式。允许使用的电源电压范围也越来越宽。一般单片机都能在 3~6V 范围内工作,对电池供电的单片机不再需要对电源采取稳压措施。低电压供电的单片机电源下限已由 2.7V 降至 2.2V、1.8V、0.9V 供电。



### 5. 低噪声与高可靠性技术

为提高单片机系统的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境,满足电磁兼容性方面更高标准的要求,各单片机商家在单片机内部电路中采取了一些新的技术措施。如 ST 公司的  $\mu$ PSD 系列单片机片内增加了看门狗定时器,NS 的 COP8 单片机内部增加了抗 EMI 电路,增强了看门狗的性能。

### 6. ISP 及 IAP 技术

在片编程技术 ISP(In System Programming)及在应用中编程 IAP(In Application Programming)是通过单片机上引出的编程线、串行数据、时钟线等对单片机编程,编程线与 I/O 线共用,不增加单片机的额外引脚。ISP 为开发调试提供了方便,并使单片机系统远程调试、升级成为现实。

## 1.3 单片机的应用

单片机有体积小、功耗低、功能强、性能价格比高、易于推广应用等显著优点,在自动化装置、智能仪器仪表、过程控制、通信、家用电器等许多领域得到日益广泛的应用。其典型应用领域有:

### 1. 工业过程控制

由于单片机的 I/O 接口线多,位操作指令丰富,逻辑功能强,所以特别适合于工业过程控制。如锅炉控制、电机控制、机器人控制、交通灯控制、纺织控制、数控机床、雷达、导航控制以及航天导航系统,等等。在控制系统中,单片机用来完成开关量和模拟量的采集、计算和处理,然后输出控制信号以控制设备有条不紊地工作。

### 2. 智能仪表

用单片机改造原有的测量仪表能促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化和柔性化发展。如电流、电压、温度、压力、流量、浓度等的测量与显示。通过采用单片机软件编程技术,使测量仪表中长期存在的修正误差、显性化处理等难题迎刃而解。

### 3. 机电一体化产品

单片机与传统的机械产品结合,使传统机械产品结构简化,控制智能化。典型的产品有数控机床、医疗器械等。

### 4. 计算机网络与通信

比较高档的单片机都具有通信接口,为单片机在计算机网络与通信设备中的应用创造了比较好的条件。利用单片机与单片机之间的通信可以制作分布式控制系统,利用单片机与 PC 机之间的通信还可以制作管控一体化系统。

### 5. 家用电器

由于单片机价格低、逻辑判断控制能力强,且内部具有定时/计数器,所以广泛应用于家用电器中。如洗衣机、电冰箱、微波炉、电饭煲、防盗报警器等。

## 1.4 单片机选型

为了满足不同的需求,在开始设计应用系统时,必须认真考虑,进行选型。一般情况下,选择型号应注意以下几个方面:

### 1. 芯片的可靠性及温度等级

可靠性等级与温度档次有相关性,不同的应用环境应选择不同温度档次的单片机。一般情况下,单片机芯片上都有温度等级标志,温度分为 3 级,其对环境温度的适应能力为:

民用级:  $0\sim 70^{\circ}\text{C}$

工业级:  $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$

军用级:  $-65\sim 125^{\circ}\text{C}$

### 2. 片内 ROM 供应状态

一般同一系列的单片机中有不同 ROM 状态的芯片,包括片内无 ROM、片内带 ROM、EPROM 或 E<sup>2</sup>PROM 等。例如,3031/8051/8751/80C51 分别为片内无 ROM、片内带 ROM、片内带 EPROM 和片内带 E<sup>2</sup>PROM 的供应状态。不同的供应状态的单片机其构成的应用系统及研制过程也不相同。

### 3. 半导体工艺状态

在单片机型号中常用英文字母表示其半导体工艺类型。例如 8051 为 HMOS 工艺,80C51 为 CMOS 工艺,采用不同的半导体工艺直接影响应用系统的功耗、运行温度和工作电压范围的选择。要特别注意的是,设计低功耗系统时,必须采用 CMOS 芯片,而且在软、硬件设计中要充分利用 Wait 和 Stop 工作方式。

## 1.5 单片机应用系统的开发过程

单片机虽然是一个五脏俱全的微型计算机,但由于本身无自开发能力,必须借助于开发工具来开发应用软件以及对硬件资源进行诊断。进行一个完整应用系统开发必须经过以下步骤:

### 1. 确定方案,选择芯片

进行应用系统设计时,应先进行需求分析,根据应用需要确定系统规模,然后选择单片机型号、存储器的容量以及外为接口芯片的型号。

### 2. 硬件电路设计、组装与调试

硬件电路的设计包括原理图设计和印制电路板(PCB)的设计,常用的设计软件为 Protel,目前,Protel 有多种版本,如 Protel 99se, Protel dxp 等。在 Protel 下先设计原理图,然后转换为 PCB 图。根据 PCB 图由 PCB 生产厂家加工为 PCB 板,最后将元器件焊接在 PCB 板上形成应用系统的目标板,设计人员要对目标板电路进行调试与测试,保证硬件电路正确。

### 3. 应用软件的调试与仿真

目标板制作完成后,应根据需要编写应用软件,由于目标板上无程序和数据输入输出及调



试用的键盘和显示器,因此软件的调试必须借助于 PC 机和仿真器来完成,仿真器与 PC 机和目标板的连接如图 1.1 所示。



图 1.1 仿真器与 PC 机和目标板的连接

仿真器是一种调试工具,用于程序的输入、修改、调试及生成二进制代码。仿真器型号很多,但使用方法基本相同。大部分仿真器都有一个串口线与 PC 机的串行口进行连接,也有部分是经 USB 口进行连接。软件调试时,目标板上的单片机芯片暂时不安装,仿真器上的仿真头插在目标板的单片机芯片的位置。仿真器连接好后,在 PC 机上安装仿真软件,利用仿真软件可进行程序的编辑与调试,调试时可从目标模块上观察其工作情况,等到系统完全满足用户需求后,利用仿真软件生成目标代码。

#### 4. 应用软件的固化

仿真结束,说明系统的软、硬件完全满足要求,那么如何将程序写入单片机的程序存储器呢?这时,可利用写入器来完成程序的固化工作。写入器也叫编程器,经串行口与 PC 机相连,如图 1.2 所示。写入器上有适合各种芯片的插槽,每个写入器都带有写入软件,将该软件安装在 PC 机上,写入程序时,可将芯片插入相应的插槽上,然后利用写入器软件,打开目标文件,选择芯片的厂家、型号和写入地址,再用固化命令将目标程序写入。



图 1.2 写入器与 PC 机的连接

#### 5. 应用系统脱机运行

系统是否能正常运行,最重要的是要看其独立工作的情况。在整个系统仿真结束并将程序固化后,将写入了程序的单片机芯片插入目标板的相应位置,系统上电复位时,观察其运行情况。如果系统运行正常,一个完整的应用系统的开发就完成了;如果系统运行不正常,就要重新进行仿真调试和程序固化,甚至要修改电路,直至系统完全满足应用需要。

### 习题

1. 什么是单片机?
2. 单片机有几个温度等级?
3. 说明单片机的发展情况和技术特点。
4. 举例说明单片机的应用情况。
5. 说明单片机应用系统的开发过程,并说明开发过程中所用设备的功能。

## 第 2 章 MCS-51 单片机的硬件结构和原理

### 2.1 MCS-51 单片机内部结构

MCS-51 系列单片机是一种高性能 8 位单片微型计算机。它把构成计算机的中央处理器 CPU、存储器、I/O 接口制作在一块集成电路芯片中,从而构成较为完整的计算机。另外,在其内部还集成有定时/计数器、串行口等部件,因此可方便地用于定时控制和远程数据传送。在 MCS-51 系列单片机中,主要有 8031、8051、8751 及 80C51 等型号。其中 8051 有 4KB ROM,8751 有 4KB EPROM,80C51 有 4KB Flash 存储器;而 8031 内部没有程序存储器,必须由外部配置。

MCS-51 系列单片机的内部结构如图 2.1 所示,其中包含 1 个 8 位中央处理器 CPU、4KB 程序存储器 ROM、128B 随机存取存储器 RAM、4 个 8 位并行 I/O 接口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时/计数器及 21 个特殊功能寄存器。外部具有 64KB 程序存储器寻址能力和 64KB 数据存储寻址能力。

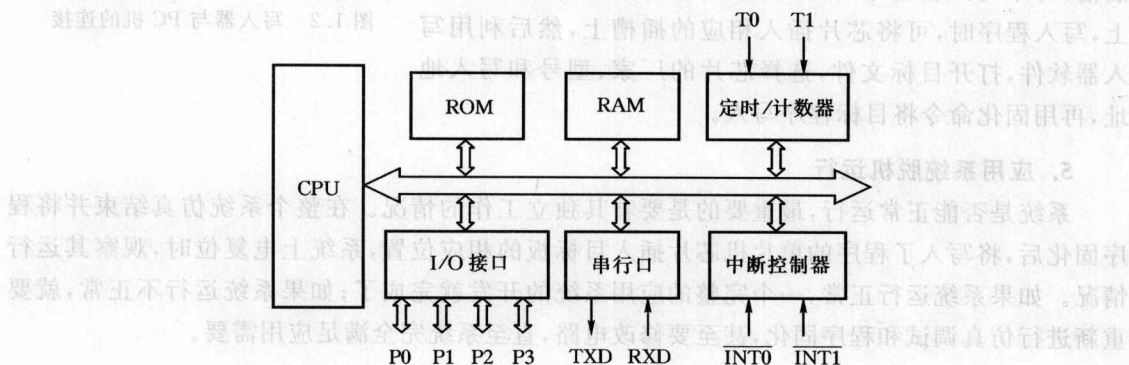


图 2.1 MCS-51 系列单片机的内部结构

### 2.2 中央处理器 CPU

中央处理器是进行算术/逻辑运算和控制程序执行的部件,包括运算器和控制器两部分。

#### 2.2.1 运算器

运算器主要包括算术/逻辑部件 ALU、累加器 ACC、程序状态寄存器 PSW 等。为了提高



数据处理和位操作能力,片内设有—个通用寄存器 B 和一些专用寄存器。

### 1. 算术/逻辑部件 ALU

ALU 的功能主要是对数据进行加、减、乘、除等算术运算及“与”、“或”、“非”、“异或”等逻辑运算。对于位操作数,可进行置位、清零、求反、移位、条件判断及按位“与”、按位“或”等操作。

### 2. 累加器 ACC

累加器 ACC 也可用 A 表示,是一个 8 位寄存器,在算术逻辑运算时用来存放一个源操作数和运算结果,在与外部数据存储器、程序存储器和 I/O 接口传送数据时都要经过 ACC。

### 3. 寄存器 B

寄存器 B 与累加器 ACC 配合用于乘、除法指令中。在乘法运算时,用 B 存放一个乘数和乘积的高位,在除法指令中,用于存放除数和商。

### 4. 程序状态寄存器 PSW

PSW 寄存器共有 8 位,全部用作程序运行时的状态标志,其格式如下:

PSW	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P	字节地址 D0H
位地址	D7H	D6H	D5H	D4H	D3H	D2H	D1H	D0H	

P:奇偶标志位。当累加器中 1 的个数为奇数时,P 置 1;否则清 0。在 MCS-51 单片机的指令系统中,凡是改变累加器内容的指令均影响奇偶标志位 P。

OV:溢出标志。当执行算术运算时,最高位和次高位的进位(或借位)不同时,有溢出,OV 置 1;否则,没有溢出,OV 清 0。

RS0、RS1:寄存器工作区选择。

F0:用户标志位。

AC:辅助进位标志位。算术运算时,若低半字节向高半字节有进位(或借位)时,AC 置 1;否则清 0。

CY:最高进位标志位。算术运算时,若最高位有进位(或借位)时,CY 置 1;否则清 0。

## 2.2.2 控制器

控制器包括程序计数器 PC、指令寄存器、指令译码器、定时控制与条件转移逻辑电路等,其中指令寄存器、指令译码器、定时控制与条件转移逻辑电路对用户来说是透明的。由于单片机可以外接 64K 字节的数据存储器和 I/O 接口电路,因此在控制器中设有一个 16 位的数据指针寄存器 DPTR,用来对外部数据存储器 and I/O 接口寻址。为了便于数据保护,设有 8 位堆栈指针 SP。

### 1. 程序计数器 PC

程序存放在程序存储器中,每条指令都有自己的地址,由 PC 指示将要执行的指令的地址,PC 是一个 16 位寄存器,可寻址范围为 0000H~FFFFH,共 64K。系统复位时,PC 的值为 0000H,因此,复位后程序的入口地址为 0000H。

### 2. 堆栈指针 SP

堆栈是按“先进后出”原则进行数据存取的数据区域,用于子程序调用与返回及中断处理时保存断点的数据。在 MCS-51 系列单片机中,堆栈向上生成,空栈底,实栈顶,由堆栈指针 SP 指示。SP 是一个 8 位寄存器,属特殊功能寄存器,字节地址为 81H。堆栈工作区可设在内部 RAM 的任意区域中,但在使用时注意不要与所选寄存器工作区、位地址区重叠。系统复位后,堆栈指针 SP 的初值为 07H,指向寄存器工作区 0。因此,用户在初始化程序中应对 SP 设置初值,一般设在 30H~7FH 为宜。

### 3. 数据指针寄存器 DPTR

DPTR 是一个 16 位寄存器,可分为两个 8 位寄存器 DPH 和 DPL,在访问数据存储器和 I/O 接口时,用于提供 16 位地址。

## 2.3 存储器结构

在 MCS-51 系列单片机中,程序存储器和数据存储器互相独立,物理结构也不相同。程序存储器为只读存储器,数据存储器为随机存取存储器。从物理地址空间看,共有 4 个存储地址空间,即片内程序存储器、片外程序存储器、片内数据存储器和片外数据存储器,I/O 接口与外部数据存储器统一编址,其示意如图 2.2 所示。

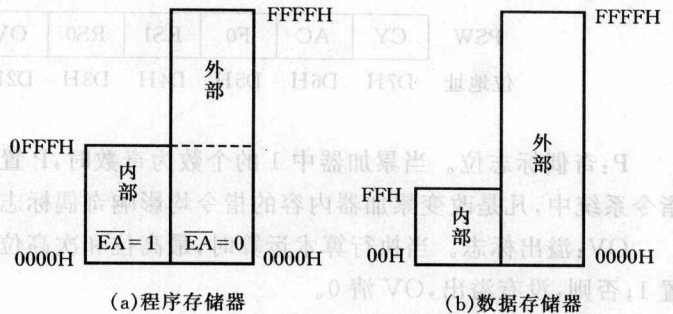


图 2.2 MCS-51 存储器空间

### 2.3.1 程序存储器

程序存储器包括内部程序存储器和外部程序存储器。8051 内设 4KB ROM,8751 内设 4KB EPROM,地址范围为 0000H~0FFFH,外部可扩展 64KB,地址范围为 0000H~FFFFH。由于单片机一般作为嵌入式专用计算机使用,因此程序存储器通常选用 ROM/EPROM 来固化应用程序。

在芯片引脚中设有一个控制端 EA。若该端接高电平,程序执行时先执行内部程序存储器中的程序,当地址大于等于 1000H 后,执行外部程序存储器中的程序。若该端接低电平,则全部执行外部程序存储器中的程序。

### 2.3.2 数据存储器

数据存储器包括内部数据存储器 and 外部数据存储器。内部数据存储器分为 128 字节的 RAM 区和 128 字节的特殊功能寄存器区,总的地址范围为 00H~FFH。在特殊功能寄存器地址空间中离散地分布着 21 个特殊功能寄存器。如累加器 A、寄存器 B、程序状态标志寄存器 PSW 等。外部可扩充 64KB 的数据存储器,地址范围为 0000H~FFFFH。

### 1. 内部 RAM

内部 RAM 共 128 个字节单元,其分布如图 2.3 所示。00H~1FH 单元为 4 个寄存器工

作区,每区 8 个寄存器,表示为 R0~R7。寄存器工作区的选择是通过程序状态寄存器 PSW 的第 3~4 位进行,如表 2.1 所示。设置 4 个寄存器工作区可以提高现场保护能力和 CPU 实时响应的速度。

表 2.1 寄存器工作区选择与地址分配

PSW. 4(RS1)	PSW. 3(RS0)	寄存器区	R0~R7 占用地址
0	0	0 区	00H~07H
0	1	1 区	08H~0FH
1	0	2 区	10H~17H
1	1	3 区	18H~1FH



图 2.3 内部 RAM 结构

20H~2FH 的 16 个单元既可以按字节寻址,作为一般的工作单元,又可以按位寻址,进行位操作。这 16 个单元共有 128 位,每位有一个位地址,位地址范围为 00H~7FH,如表 2.2 所示。30H~7FH 区只能按字节寻址,一般用作数据缓冲区或堆栈区,存放程序执行过程中的临时数据。

表 2.2 RAM 寻址区位地址分配

字节地址	位地址							
	D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48
28H	47	46	45	44	43	42	41	40
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38
26H	37	36	35	34	33	32	31	30
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28
24H	27	26	25	24	23	22	21	20
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18
22H	17	16	15	14	13	12	11	10
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08
20H	07	06	05	04	03	02	01	00

## 2. 特殊功能寄存器

特殊功能寄存器有 21 个,离散地分布在 80H~FFH 地址区域中,其名称、地址分配如表 2.3 所示,其中有 11 个特殊功能寄存器既能按字节地址访问,也能按位地址访问,如累加器 A、寄存器 B、程序状态字 PSW 等,表中给出了字节地址和对应的位地址。



表 2.3 MCS-51 特殊功能寄存器

特殊功能寄存器	字节地址	位地址							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B	F0H								
		F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0
A	E0H								
		E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0
PSW	D0H	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV		P
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
IP	B8H				PS	PT1	PX1	PT0	PX0
		—	—	—	BC	BB	BA	B9	B8
P3	B0H	P3.7	P3.6	P3.5	P3.4	P3.3	P3.2	P3.1	P3.0
		B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
IE	A8H	EA			ES	ET1	EX1	ET0	EX0
		AF	—	—	AC	AB	AA	A9	A8
P2	A0H	P2.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0
		A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
SBUF	99H								
SCON	98H	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
		9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98
P1	90H	P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0
		97	96	95	94	93	92	91	90
TH1	8DH								
TH0	8CH								
TL1	8BH								
TL0	8AH								
TMOD	89H								
TCON	88H	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
		8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88
PCON	87H								
DPH	83H								
DPL	82H								
SP	81H								
P0	80H	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0
		87	86	85	84	83	82	81	80

### 3. 外部数据存储器

在 MCS-51 系列单片机的外部可扩展 64KB 的数据存储器,用来存放随机数据,因此一般由 RAM 构成。外部数据存储器地址为 0000H~FFFFH,地址由 P0 和 P2 口提供。

## 2.4 MCS-51 单片机对外引脚

MCS-51 单片机有 40 个引脚,采用双列直插式结构,其引脚分布与逻辑符号如图 2.4 所示。其中包括 4 个 8 位并行 I/O 接口线、6 条控制信号线和 2 条电源线。

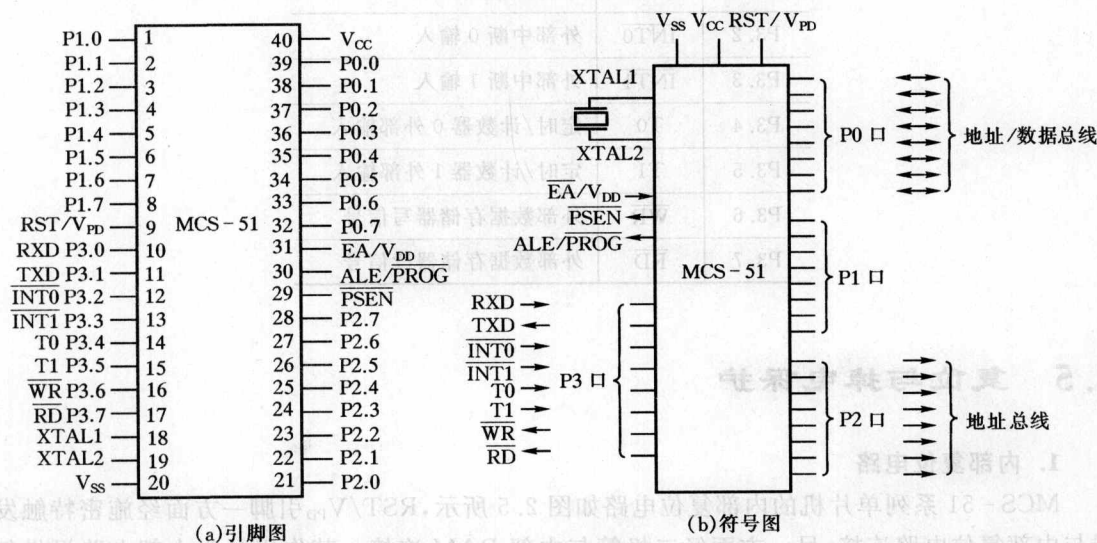


图 2.4 MCS-51 引脚分布与符号图

并行口 P0: 8 位双向 I/O 接口,连接外部存储器或扩充外设时,作为低 8 位地址线和 8 位数据线。

并行口 P1: 8 位准双向 I/O 接口,在编程和校验时接收低 8 位地址,每一位可以独立地输入/输出。

并行口 P2: 8 位准双向 I/O 接口,连接外部存储器或扩充外设时,作为高 8 位地址线,在编程和校验时接收高位地址和控制信号。

并行口 P3: 8 位准双向 I/O 接口,另外还兼有中断、定时/计数器、串行通信、RD和WR等控制功能。具体功能如表 2.4 所示。

RST/V<sub>PD</sub>:复位及提供后备电源。MCS-51 采用电平复位,复位高电平应保持 2 个机器周期。另外,机器即将掉电时,可由 V<sub>PD</sub>提供备用电源。

ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ :ALE 地址输出锁存信号,访问外部存储器时作为地址锁存信号,EPROM 编程时输入编程脉冲。

$\overline{\text{PSEN}}$ :外部程序存储器读出选通信号,读出内容送并行口 P0。

$\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{DD}}$ : $\overline{\text{EA}}$ 内部/外部程序存储器选择信号。 $\overline{\text{EA}}$ 为高电平,表示选择内部程序存储器; $\overline{\text{EA}}$ 为低电平,表示选择外部程序存储器。对于内部没有程序存储器的单片机, $\overline{\text{EA}}$ 必须接地。