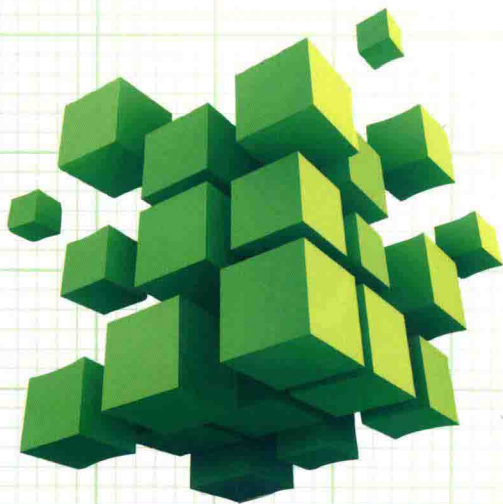


应用型高等院校改革创新示范教材

APPLICATION-ORIENTED INNOVATIVE TYPICAL

# 单片机原理 及应用技术 (C语言版)

周国运 鲁庆宾 赵天翔 编著

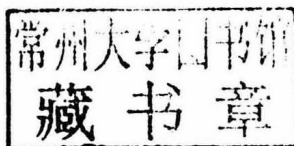


中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

应用型高等院校改革创新示范教材

# 单片机原理及应用技术 (C语言版)

周国运 鲁庆宾 赵天翔 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书以应用最广泛的 MCS-51 增强型单片机为对象,系统地讲解了单片机结构原理、编程方法、接口及应用。本书内容包括单片机概述, MCS-51 单片机结构原理, 单片机 C 语言基础, 开发工具, I/O 口及应用, 中断系统, 定时器/计数器, 串行口, 常用总线接口, 单片机与模拟、开关量接口技术, 以及单片机应用系统设计。

本书从教学和初学者的角度讲解单片机的基本内容和应用, 结构科学、概念清晰、准确易懂、材料数据可靠; 以 C 语言为基础讲解、举例和编程; 以程序开发软件 Keil C、电路设计模拟运行软件 Proteus 为教学、学习和训练工具, 理论与实践紧密结合。

本书适用于具有 C 语言基础的计算机、电子、通信、自动化、电气、测控技术与仪器等专业的本科学子作为教材, 也可以作为各种培训机构的教材, 以及工程技术人员、自学者的参考书。

## 图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及应用技术 : C语言版 / 周国运, 鲁庆宾, 赵天翔编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2019.6

应用型高等院校改革创新示范教材  
ISBN 978-7-5170-7709-1

I. ①单… II. ①周… ②鲁… ③赵… III. ①单片微型计算机—C语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1②TP312.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第095683号

策划编辑: 石永峰

责任编辑: 张玉玲

封面设计: 李 佳

书 名	应用型高等院校改革创新示范教材 单片机原理及应用技术 (C 语言版)
作 者	DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG JISHU (C YUYAN BAN) 周国运 鲁庆宾 赵天翔 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:mchannel@263.net">mchannel@263.net</a> (万水) <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.25 印张 396 千字
版 次	2019 年 6 月第 1 版 2019 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	42.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换  
版权所有·侵权必究

# 前 言

自《单片机原理及应用（C语言版）》出版到现在，已过去了十年的时间。在这十年里，计算机技术、网络技术、嵌入式系统、芯片技术等得到了快速发展，并且这些技术迅速得到了广泛的应用。虽然在嵌入式系统、物联网等领域使用高性能32位微控制器越来越多，但易学易用、开发成本低、性价比高的8位单片机依然不失主流，并且单片机也是嵌入式系统一种重要的微控制器，而且单片机是学习嵌入式系统的基础。

随着科学技术及其应用的发展，单片机的教学内容和应该作相应的改革。回想之前出版的两本单片机图书，《单片机原理及应用（C语言版）》（中国水利水电出版社）主要是加入了单片机C语言，因为讲得透彻、改变了编程方法、提高了编程效率，所以得到了同行的认可。《单片机原理及应用教程（C语言版）》（中国水利水电出版社）主要是加入了虚拟仿真工具Proteus，改变了实验方法，学生可以在自己的计算机上随时进行仿真实验，并且实验程序与硬件电路密切结合，提高了学习效率和应用技能，所以也得到了同行的认可。

近几年单片机的教材有不少从项目驱动教学方面进行改革，是一种注重于实用性、趣味性的探索尝试。本版仍然以知识的科学性、逻辑性为原则，搭建知识结构，组织教学内容，其主要变化是优化了结构、更新和完善了内容。

## 一、本书主要作的修改

(1) 优化了知识的结构。主要是组建了“单片机I/O口及应用”一章，使整书结构更加科学，逻辑关系更加合理。

(2) 更新了过时的内容。一是把原来8位、单通道、并行接口的DAC0832，换成了12位、4通道、SPI接口的DAC124S085；二是把原来8位、8通道、并行接口的ADC0809，换成了8位、4通道、SPI接口的ADC0834；三是更新了Keil C和Proteus的相关内容。

(3) 修改、完善了一些内容。如增加了RS-422/485接口、USB接口，增加了串行口C语言编程一节，详细讲解了相关的函数；修改、完善了总线接口技术一章的内容，其内容包括并行总线接口技术，SPI、IIC总线接口技术；丰富了“单片机应用系统设计”一章的内容，增加了“环境检测系统设计”一节。

(4) 删除了“指令系统与汇编程序设计”一章，以满足对这部分内容没有要求的读者。

(5) 修改了书中的各种错误。

## 二、本书的主要特点与特色

经过以上几个方面的修改，在保留了前几版的特色（以89C52为对象讲解、以C语言为主要编程语言、与单片机紧密结合的C语言内容、Proteus仿真实验）的基础上，又有创新和提高。具体来说，本版具有如下特色：

(1) 本书结构清晰、科学、先进；内容选取精炼、讲解清晰、准确；例题习题丰富、联系实际；软硬件结合、理论与实践紧密结合；勇于探索、开拓创新。

(2) 突出了输入/输出端口及应用。单列一章(第5章)讲解输入/输出端口结构原理及应用。这样设置,既突出了I/O口的重要性,增加了对I/O口的应用(专门编写了I/O口应用方面的十几道编程题),并且解决了键盘、显示器内容滞后的问题。

(3) 注意接口方法与能力的培养。一是接口概念明确,真正理解接口的含义;二是用一章介绍常用总线(并行总线、SPI总线、IIC总线)的接口技术,增加了SPI总线;三是重视接口时序分析和应用,几乎在每个接口中都有体现,使读者能够正确使用各种接口芯片;四是增加了串行口的接口技术,其内容包括单片机与RS-232、RS-422/485、USB的接口技术,这些内容都很实用。本书通过“总线接口、芯片接口、接口时序、操作函数、接口应用”这五个方面众多实例的学习与训练,使读者能够通过阅读手册,使用新的芯片,即能够写出基本操作函数,编写应用程序。

(4) 所有的A/D、D/A转换器都采用SPI接口的芯片。淘汰了传统的并行三总线接口的A/D、D/A转换器,这些转换器在实际中已经很少使用。书中所讲的这些转换器,不仅接口方便,而且应用广泛、价格便宜、编程简单,在Proteus器件库中都可以找到,能够仿真调试运行。

(5) “单片机应用系统设计”一章关注基础性、普适性和实用性,是第10章的延续与提升。简易计算器设计,在软件方面示范了键盘、数码管及其驱动芯片的使用方法及系统构成,其程序示范了如何从键盘获得数值型变量值、怎样处理功能键;万年历设计为读者提供了时钟芯片的使用方法,以及完整的万年历程序;环境检测系统设计示范了数字温湿度传感器、光照度传感器等环境检测中常用的器件的使用方法和应用程序。这几个例子有如下特点:一是基本上不包含专业性、行业性较强的内容,因此,程序容易阅读、学习;二是例子中示范的器件应用广泛,是一般应用系统中必不可少的部分;三是例子中的程序可以直接用到其他应用系统中。

(6) 详细讲解了C51函数在串行口操作中的应用。C51的输入/输出函数在很多应用中特别方便,如对GPRS、GPS等模块的操作。现有单片机图书对输入/输出函数在串行口中的应用介绍较少,深入、透彻讲解的更少。本书在串行口一章用一节的篇幅,对输入/输出函数的特点、应用方法、注意的问题等,作了详细的讲解。

(7) 在“C51位变量的定义”一节,专门写了“位操作应用”小节,讲解了判断位值、查找0/1位、逐位发送、逐位接收这些位操作的方法及编程,这些方法在键盘识别、串行总线(SPI、IIC、单总线)接口操作中会广泛用到,解决了读者学习这些内容的相关问题。

(8) 创新性地提出了多个概念及键盘识别和编程方法。在第4章提出了“变量存储区(域)”和“设备变量”的概念。“变量存储区(域)”的概念(其他单片机书中称为“存储类别”)符合单片机变量保存位置区域的特征,容易理解并且与ANSI C变量的“存储类型”属性不冲突。“设备变量”的概念虽然不是必须的,但“设备变量”本身访问过程的复杂性和它的特指性,对于初学者理解、掌握这类访问过程复杂的变量有显著的作用,对于教师则方便讲解,书中不仅给出了概念的定义、特征描述,还给出了“设备变量”的多种定义方法之比较及最佳定义方法。在第5章提出了“行列快速扫描法”键盘识别方法,与常用的“行扫描法”“行列反转法”相比,该方法更简单、更容易理解、更容易编程。

(9) 其他方面。如所有延时都有确定的时间,长的到1000ms、2000ms,短的至5 $\mu$ s、1 $\mu$ s,不存在延时时间模糊、读者存疑的情况。在IIC、SPI等总线操作中,注释了一些关键部分的操作时间。又如,思考题例题丰富,便于学习、训练参考。再如,所截电路图紧凑、布局恰当、突出重点、清晰、大小适中。

### 三、几点说明

(1) 本书中的单片机型号都标示为“89C52”，在实际应用开发中选用的多为我国宏晶公司的 STC 系列单片机，但 Proteus 仿真软件中没有该系列，选用的是“AT89C52”，标示为“89C52”。

(2) 书中的 Proteus 仿真电路都省略了晶振、复位、电源等电路，也省略了数码管等电路的驱动，请读者注意。

(3) 关于单片机的学习，除了重视单片机的结构、原理、编程之外，还要重视芯片的结构、原理、接口方法和接口时序，能够写出操作函数。

本书由周国运主持编写、组织内容及统稿。本书编写分工如下：周国运编写了第 2 章~第 4 章和 5.1、8.4.3、8.5、11.1.1 节及附录，鲁庆宾编写了第 5、第 8、第 10、第 11 章，赵天翔编写了第 1、第 6、第 7、第 9 章。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请同行和读者批评指正。作者邮箱：zhouguoyun@sina.com。

编者  
2019 年 3 月

# 目 录

前言	
第1章 单片机概述	1
1.1 单片机的基本概念	1
1.2 单片机的发展历史	1
1.3 单片机的特点及应用	3
1.3.1 单片机的特点	3
1.3.2 单片机的应用	3
1.4 常见 MCS-51 单片机简介	4
1.4.1 MCS-51 系列单片机	4
1.4.2 ATMEL89 系列单片机	4
1.4.3 STC 系列单片机	5
思考题与习题	6
第2章 MCS-51 单片机结构原理	7
2.1 MCS-51 单片机内部结构及 CPU	7
2.1.1 MCS-51 单片机结构及特点	7
2.1.2 MCS-51 单片机内部原理结构	8
2.1.3 MCS-51 单片机的 CPU	8
2.2 MCS-51 单片机引脚信号	11
2.2.1 MCS-51 单片机引脚信号及功能	11
2.2.2 MCS-51 单片机外部总线结构	14
2.3 MCS-51 单片机存储器结构	15
2.3.1 程序存储器结构	15
2.3.2 片内数据存储器结构	16
2.3.3 片外数据存储器结构	19
2.4 MCS-51 单片机时钟及 CPU 时序	20
2.4.1 时钟电路及时钟信号	20
2.4.2 CPU 时序	22
2.5 MCS-51 单片机的复位	24
2.5.1 复位状态	24
2.5.2 复位电路	24
2.6 MCS-51 单片机低功耗工作方式	25
2.6.1 低功耗结构及控制	25
2.6.2 空闲工作方式	26
2.6.3 掉电工作方式	27
思考题与习题	27
第3章 单片机 C 语言基础	29
3.1 C51 概述	29
3.1.1 C 语言编程的优势	29
3.1.2 C51 与 ANSI C 的区别	30
3.1.3 C51 扩充的关键字	31
3.2 C51 数据类型及存储	31
3.2.1 C51 的数据类型	31
3.2.2 C51 数据的存储	33
3.3 C51 一般变量的定义	34
3.3.1 C51 变量的定义格式	34
3.3.2 C51 变量的存储类型	34
3.3.3 C51 变量的存储区	35
3.3.4 C51 变量定义举例	36
3.3.5 C51 变量的存储模式	36
3.3.6 C51 变量的绝对定位	37
3.3.7 C51 设备变量	38
3.4 C51 特殊功能寄存器的定义	38
3.4.1 8 位特殊功能寄存器的定义	39
3.4.2 16 位特殊功能寄存器的定义	39
3.5 C51 位变量的定义	39
3.5.1 bit 型位变量的定义	39
3.5.2 sbit 型位变量的定义	40
4.5.3 位操作应用	41
3.6 C51 指针与结构体的定义	44
3.6.1 通用指针	44
3.6.2 存储器专用指针	44
3.6.3 指针变换	45
3.6.4 C51 指针应用	45
3.6.5 C51 结构体定义	48
3.7 C51 函数的定义	49
3.7.1 C51 函数定义的一般格式	49
3.7.2 C51 中断函数的定义	50
思考题与习题	51
第4章 单片机开发工具	53
4.1 单片机程序开发软件 Keil C 简介	53
4.1.1 Keil C 集成开发工具简介	53

4.1.2 Keil C 的操作工具	54	6.2.2 中断系统的原理	102
4.1.3 Keil C 程序开发方法	58	6.2.3 外部中断触发方式	103
4.1.4 Keil C 调试运行方法	61	6.2.4 中断请求标志	104
4.2 单片机系统模拟软件 Proteus 简介	64	6.3 中断系统控制	105
4.2.1 Proteus 主界面	65	6.3.1 中断允许控制	105
4.2.2 Proteus ISIS 的操作工具	65	6.3.2 中断优先级控制	106
4.2.3 Proteus ISIS 原理图设计方法	71	6.4 中断响应与处理	108
4.2.4 Proteus ISIS 原理图设计举例	74	6.4.1 中断响应	108
4.2.5 Proteus ISIS 仿真方法	76	6.4.2 中断处理	109
思考题与习题	77	6.5 外部中断应用举例	109
<b>第 5 章 单片机 I/O 口及应用</b>	<b>79</b>	6.5.1 中断应用程序结构及初始化	109
5.1 单片机 I/O 口结构原理	79	6.5.2 应用举例	111
5.1.1 P1 口	79	思考题与习题	113
5.1.2 P2 口	81	<b>第 7 章 单片机定时器/计数器</b>	<b>115</b>
5.1.3 P3 口	81	7.1 单片机定时器/计数器的结构	115
5.1.4 P0 口	82	7.2 定时器/计数器 T0、T1	116
5.1.5 端口负载能力和接口要求	83	7.2.1 T0、T1 的特殊功能寄存器	116
5.2 数码管及显示控制	84	7.2.2 T0、T1 的工作模式	117
5.2.1 数码管显示器结构原理	84	7.2.3 T0、T1 的使用方法	119
5.2.2 数码管显示方式	85	7.3 定时器/计数器 T2	122
5.2.3 数码管显示控制	86	7.3.1 T2 的特殊功能寄存器	122
5.3 键盘及识别控制	87	7.3.2 T2 的工作方式	123
5.3.1 键盘分类及按键识别	87	7.4 定时器应用举例	127
5.3.2 独立式键盘及按键识别	88	思考题与习题	133
5.3.3 行列式键盘及按键识别	89	<b>第 8 章 单片机串行口</b>	<b>134</b>
5.3.4 中断方式扫描键盘	92	8.1 串行通信基础知识	134
5.3.5 键盘应用举例	92	8.1.1 数据通信	134
5.4 LCD 显示器及控制	95	8.1.2 异步通信和同步通信	135
5.4.1 LM016L 引脚信号	95	8.1.3 波特率	136
5.4.2 LM016L 操作指令	95	8.1.4 通信方向	136
5.4.3 LM016L 数据存储寄存器	96	8.1.5 串行通信接口种类	137
5.4.4 LM016L 基本操作函数	97	8.2 串行口结构及控制	137
5.4.5 LM016L 应用编程	98	8.2.1 单片机串行口结构	137
思考题与习题	99	8.2.2 串行口特殊功能寄存器	138
<b>第 6 章 单片机中断系统</b>	<b>101</b>	8.2.3 波特率设计	139
6.1 中断系统概述	101	8.3 串行口工作方式	142
6.1.1 中断的基本概念	101	8.3.1 串行口方式 0	142
6.1.2 中断的功能	101	8.3.2 串行口方式 1	144
6.2 中断系统的结构与原理	102	8.3.3 串行口方式 2 和方式 3	145
6.2.1 中断系统的结构	102	8.4 串行口接口技术	146

8.4.1 RS-232 接口	146	10.1.1 D/A 转换器的主要参数	192
8.4.2 RS-422/485 接口	148	10.1.2 D/A 转换器 TLC5615 及接口技术	192
8.4.3 USB 接口	150	10.1.3 D/A 转换器 DAC124S085 及接口技术	195
8.5 串行口的 C51 操作方法	152	10.2 A/D 转换器及应用	198
8.5.1 串行口输出函数	152	10.2.1 A/D 转换器的主要参数	199
8.5.2 串行口输入函数	155	10.2.2 A/D 转换器 ADC0834 及接口技术	199
8.6 串行口应用举例	157	10.2.3 A/D 转换器 TLC2543 及接口技术	204
8.6.1 串行口方式 0 应用	157	10.2.4 单片机片内 A/D 转换器及应用	210
8.6.2 串行口方式 1、方式 3 应用	160	10.3 开关信号器件及应用	212
思考题与习题	162	10.3.1 光电耦合器件及接口技术	212
<b>第 9 章 单片机常用总线接口</b>	164	10.3.2 继电器接口技术	213
9.1 接口的基本概念	164	10.3.3 直流电机控制接口技术	214
9.1.1 单片机应用系统构成	164	10.3.4 步进电机控制接口技术	216
9.1.2 接口的概念	165	思考题与习题	217
9.1.3 接口的基本功能	165	<b>第 11 章 单片机应用系统设计</b>	219
9.1.4 接口的结构	165	11.1 简易计算器设计	219
9.1.5 端口及其编址	166	11.1.1 数码管与键盘接口芯片 BC7277 简介	219
9.2 并行总线及存储器接口	167	11.1.2 系统电路设计	223
9.2.1 单片机并行总线结构	167	11.1.3 系统功能设计	224
9.2.2 单片机并行总线操作时序	168	11.1.4 系统程序设计	225
9.2.3 单片机与并行数据存储器接口	169	11.2 万年历设计	229
9.3 单片机与并行总线设备的接口	171	11.2.1 时钟芯片 DS1302 简介	229
9.3.1 8255A 内部结构	171	11.2.2 系统电路设计	232
9.3.2 8255A 引脚信号	172	11.2.3 系统功能设计	233
9.3.3 8255A 的控制字	173	11.2.4 系统程序设计	233
9.3.4 8255A 的工作方式	174	11.3 环境检测系统设计	236
9.3.5 8255A 应用举例	175	11.3.1 温湿度传感器 DHT11 简介	236
9.4 IIC 总线及应用接口	176	11.3.2 光照度传感器 BH1750 简介	239
9.4.1 IIC 总线特点	176	11.3.3 系统电路设计	241
9.4.2 IIC 总线时序	177	11.3.4 系统程序设计	242
9.4.3 IIC 总线操作函数	180	课程设计参考题目	243
9.4.4 IIC 总线应用	181	参考文献	244
9.5 SPI 总线及应用接口	183	附录 A 标准 ASCII 码表	245
9.5.1 SPI 总线特点	183	附录 B C 语言运算符特性表	246
9.5.2 SPI 总线时序	184	附录 C C51 库函数	247
9.5.3 SPI 总线操作函数	185	C.1 一般 I/O 函数	247
9.5.4 SPI 总线应用	187	C.2 内部函数	248
思考题与习题	191	C.3 绝对地址访问函数	249
<b>第 10 章 单片机与模拟、开关量接口技术</b>	192		
10.1 D/A 转换器及应用	192		

# 第 1 章 单片机概述

本章主要介绍了单片机的概念、发展历史、特点及应用，以及一些常用的单片机。通过本章的学习：读者可以对单片机有一个基本的认识。

## 1.1 单片机的基本概念

计算机由控制器、运算器、存储器、输入设备、输出设备 5 大部分组成。把计算机中除了输入设备、输出设备以外的其他部分全部集成在一块芯片上就构成了单片机。单片机相当于微型计算机的主机部分，因此是单个芯片的微型计算机（Single Chip Micro Computer, SCM），简称为单片机。

单片机内部集成有微处理器、存储器、接口适配器和连接它们的总线，如图 1-1 虚线框内所示。

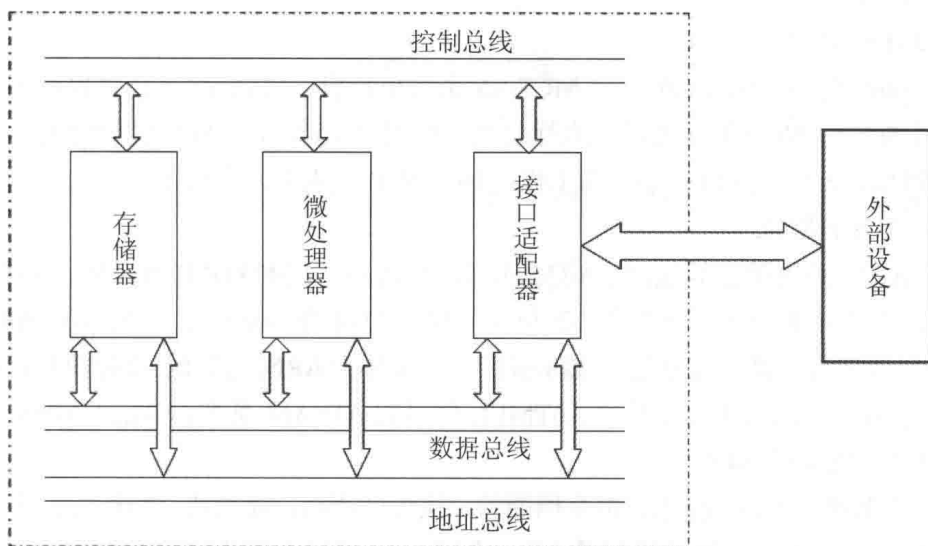


图 1-1 单片机的组成

## 1.2 单片机的发展历史

### 1. 4 位单片机阶段

1974 年，Intel 公司开发出首款微处理器 4004。1975 年美国德克萨斯仪器公司（TI）首次推出 4 位单片机 TMS-1000，标志着单片机的诞生。随后各个计算机生产公司也都竞相推出 4 位单片机。

## 2. 8 位单片机阶段

1976 年 9 月美国 Intel 公司率先推出了 MCS-48 系列 8 位单片机, 单片机发展进入了一个新的阶段, 8 位单片机纷纷应运而生。

随着集成电路工艺水平的提高, 在 1978 年到 1983 年间芯片集成度提高到几万只晶体管, 因而一些高性能的 8 位单片机相继问世。特别是 1980 年 Intel 公司的 MCS-51 系列, 寻址能力达到 64 KB, 片内 ROM 容量达 4~8 KB, 片内除了带有并行 I/O 口外, 还有串行 I/O 口等。MCS-51 系列单片机结构简单, 功能性强, 易于学习和使用, 堪称经典, 在我国广泛推广, 本书即是以 MCS-51 系列单片机为例来讲述单片机的原理及接口技术的。

随着技术的进步和 RISC (精简指令集计算机) 技术的流行, 不断有一些新型的 8 位单片机问世。1997 年由 ATMEL 公司推出的 AVR 系列单片机, Microchip 公司推出的 PIC 系列单片机, 是这类单片机的典型代表。AVR 系列单片机采用增强的 RISC 结构, 指令周期短, 运行速度快, 每 MHz 可实现 1MIPS 的处理能力。AVR 系列单片机内置 flash 存储器, 容量达 4~256KB; 片内 RAM 可达 8KB; 片上集成有 EEPROM、PWM、RTC、SPI、UART、TWI、JTAG、ADC、Analog Comparator、WDT、USB 等资源。

8 位单片机由于功能强, 性能够用, 至今仍被广泛用于家用电器、工业控制、智能接口、仪器仪表等各个领域。

## 3. 16 位单片机阶段

1983 年 Intel 公司推出了 16 位的 MCS-96 系列单片机, Microchip 公司也推出了 16 位的 PIC 系列单片机, 但 16 位单片机没能流行起来。原因是 16 位单片机可以做的工作, 8 位单片机也基本可以做。8 位单片机做不了的工作, 16 位单片机也基本上做不了。

## 4. 32 位单片机阶段

1993 年 ARM 公司推出的 32 位 ARMv4 架构处理器 ARM7TDMI 在市场上获得了巨大成功, 于是开始出现基于 ARM 内核的 32 位单片机。2004 年 ARM 公司推出的 ARMv7 架构 Cortex-M 系列处理器更使单片机迈入 32 位时代, 大量基于 ARM 内核的 32 位单片机纷纷涌现。比较常见的有 ST 公司的 STM32 系列、ATMEL 公司的 ATSAM 系列、STELLARIS 公司的 LM 系列和 NXP 公司的 LPC 系列等。

ARM 处理器基于 RISC 技术, 指令周期短, 执行效率高, 速度快, 功耗低。基于 ARM 处理器内核的单片机普遍内置更大容量的 ROM 和 RAM; 拥有 32 位 ALU, 性能强大; 高达几十 MHz, 甚至几百 MHz 的运行速度; 可以运行 uCOS、FREERTOS 等嵌入式操作系统; 拥有丰富的片上资源; 支持彩色的 LCD; 支持网络接口; 拥有灵活的 I/O 接口; 拥有方便快捷的调试接口。

从目前的市场占有率来看, 8 位和 32 位单片机应用最多, 4 位和 16 位单片机比较少见。随着 32 位单片机价格的逐渐降低和产品技术的提升, 32 位单片机的市场占有率在不断提高, 但是 8 位单片机简单易用, 价格低廉, 仍有广泛市场。同时, 计算机控制形式多种多样, 并不局限于单片机, PLC、FPGA、DSP、嵌入式处理器、工控计算机等都会在不同领域长期共存。

## 1.3 单片机的特点及应用

### 1.3.1 单片机的特点

(1) 单片机的存储器 ROM 和 RAM 是严格区分的。ROM 称为程序存储器, 只存放程序、固定常数及数据表格。RAM 则为数据存储器, 用作工作区及存放用户数据。采用这样的结构主要是考虑到单片机用于控制系统中, 需要有较大的程序存储器空间, 把开发成功的程序固化在 ROM 中, 而把少量的随机数据存放在 RAM 中。这样, 小容量的数据存储器能以高速 RAM 形式集成在单片机内, 以加速单片机的执行速度。但单片机内的 RAM 是作为数据存储器用, 而不是当作高速缓冲存储器 (Cache) 使用。

(2) 采用面向控制的指令系统。为满足控制的需要, 单片机有更强的逻辑控制能力, 特别是具有很强的位处理能力。

(3) 单片机的 I/O 引脚通常是多功能的。由于单片机芯片上引脚数目有限, 为了解决实际引脚数和需要的信号线的矛盾, 采用了引脚功能复用的方法。引脚处于何种功能, 可由指令来设置或由机器状态来区分。

(4) 单片机的外部扩展能力强。在内部的各种功能部分不能满足应用需求时, 均可在外部进行扩展 (如扩展 ROM、RAM、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统等), 与许多通用的微机接口芯片兼容, 给应用系统设计带来极大的方便和灵活性。

(5) 单片机体积小, 成本低, 运用灵活, 易于产品化。它能方便地组成各种智能化的控制设备和仪器, 做到机电一体化。

(6) 面向控制, 能有针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务, 因而能获得最佳的性能价格比。

(7) 抗干扰能力强, 适用温度范围宽, 在各种恶劣的环境下都能可靠地工作, 这是其他类型计算机无法比拟的。

(8) 可以方便地实现多机和分布式控制, 使整个控制系统的效率和可靠性大为提高。

### 1.3.2 单片机的应用

单片机的应用范围十分广泛, 主要的应用领域有:

(1) 工业控制。单片机可以构成各种工业控制系统、数据采集系统等。如数控机床、自动生产线控制、电机控制、测控系统等。

(2) 仪器仪表。如智能仪表、医疗器械、数字示波器等。

(3) 计算机外部设备与智能接口。如图形终端机、传真机、复印机、打印机、绘图仪、磁盘/磁带机、智能终端机等。

(4) 商用产品。如自动售货机、电子收款机、电子秤等。

(5) 家用电器。如微波炉、电视机、空调、洗衣机、录像机、音响设备等。

(6) 消费类电子产品。

(7) 通信设备和网络设备。

(8) 儿童智能玩具。

- (9) 汽车、建筑机械、飞机等大型机械设备。
- (10) 智能楼宇设备。
- (11) 交通控制设备。

## 1.4 常见 MCS-51 单片机简介

### 1.4.1 MCS-51 系列单片机

Intel 公司在 1980 年到 1982 年间陆续推出和 8051 指令系统完全相同, 内部结构基本相同的 8031、8051 和 8751 等型号单片机, 初步形成 MCS-51 系列, 被奉为“工业控制单片机标准”。

1984 年 Intel 出售了 8051 的核心技术给多家公司, 发展至今形成了一个拥有近千种型号的庞大的 51 单片机家族。

这些 51 家族的单片机从形态到功能可能差别很大, 但是它们的指令是完全一致的。在 MCS-51 系列单片机之间进行移植的时候, 只要注意两者之间资源上的差别, 代码基本上不用修改。

MCS-51 系列单片机除了 89C51 之外, 主要包括 89C52、89C54、89C58、89C516 等型号。它们的区别主要表现在 3 个方面: 一是片内 RAM 由 128B 增加到 256B; 二是多一个定时器/计数器; 三是片内 Flash ROM 由 4KB 分别增加到了 8KB、16KB、32KB 和 64KB。不同厂家的产品可能还增加有其他外设或功能, 但引脚和指令都是完全兼容的。为了讨论方便起见, 将 89C51 (包括 8031、8051 等) 称为基本型, 其他的型号称为增强型。

下面来介绍一些国内市场上比较常见的 MCS-51 系列单片机。

### 1.4.2 ATMEL89 系列单片机

ATMEL 公司生产的 89 系列单片机是市场上比较常见, 也比较具有代表性的 MCS-51 单片机。

#### 1. ATMEL89 系列单片机型号说明

AT89 系列单片机型号由 3 个部分组成, 分别是前缀、型号和后缀, 其格式如下:

AT89C (LV、S) XXXX-XXXX

(1) 前缀。前缀由字母“AT”组成, 它表示该器件是 ATMEL 公司的产品。

(2) 型号。型号由“89CXXXX”或“89LVXXXX”或“89SXXXX”等表示。“9”表示芯片内部含 Flash 存储器; “C”表示是 CMOS 产品; “LV”表示是低电压产品; “S”表示含可下载的 Flash 存储器。“XXXX”为表示型号的数字, 如 51、52、2051、8252 等。

(3) 后缀。后缀由“XXXX”4 个参数组成, 与产品型号间用“-”号隔开。

1) 后缀中的第一个参数“X”表示速度, 其意义如下:

X=12, 表示速度为 12MHz;

X=16, 表示速度为 16MHz;

X=20, 表示速度为 20MHz;

X=24, 表示速度为 24MHz。

2) 后缀中的第二个参数“X”表示封装, 其意义如下:

- X=D, 表示陶瓷封装;
- X=J, 表示 PLCC 封装;
- X=P, 表示塑料双列直插 DIP 封装;
- X=S, 表示 SOIC 封装;
- X=Q, 表示 PQFP 封装;
- X=A, 表示 TQFP 封装;
- X=W, 表示裸芯片。

3) 后缀中的第三个参数“X”表示温度范围, 其意义如下:

- X=C, 表示商业用产品, 温度范围为  $0\sim+70^{\circ}\text{C}$ ;
- X=I, 表示工业用产品, 温度范围为  $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$ ;
- X=A, 表示汽车用产品, 温度范围为  $-40\sim+125^{\circ}\text{C}$ ;
- X=M, 表示军用产品, 温度范围为  $-55\sim+150^{\circ}\text{C}$ 。

4) 后缀中的第四个参数“X”用于说明产品的处理情况, 其意义如下:

- X 为空, 表示为标准处理工艺;
- X=/883, 表示处理工艺采用 MIL-STD-883 标准。

例如: 单片机型号为“AT89C51-12PI”, 则表示该单片机是 ATMEL 公司的 Flash 单片机, 采用 CMOS 结构, 速度为 12 MHz, 封装为塑封 DIP (双列直插), 是工业用产品, 按标准处理工艺生产。

## 2. AT89C52 单片机

AT89C52 单片机特点:

- (1) 与 MCS-51 产品兼容。
- (2) 具有 8KB 可在系统编程的 Flash 内部程序存储器, 可擦/写 1000 次。
- (3) 4.0~5.5V 的工作电压范围。
- (4) 全静态操作: 0Hz~24MHz。
- (5) 3 级程序存储器加密。
- (6) 256 字节内部 RAM。
- (7) 32 位可编程 I/O 线。
- (8) 3 个 16 位定时器/计数器。
- (9) 8 个中断源。
- (10) 全双工异步串行通信设备。
- (11) 低功耗空闲模式和掉电模式。

### 1.4.3 STC 系列单片机

宏晶科技是国内的一家 8051 单片机设计公司。其设计的 STC 系列的单片机现在在国内的 51 单片机市场上占有较大比例。其最新产品是 STC8A8K64S4A12 系列, 该系列单片机的特点如下:

- (1) 超高速 8051 内核 (1 周期 1 条指令), 比传统 8051 快 12 倍以上。
- (2) 指令代码完全兼容传统 8051。
- (3) 22 个中断源, 4 级中断优先级。

- (4) 8KB SRAM。
- (5) 最大 64KB Flash 空间, 用于存储用户代码。
- (6) 最大 48KB 内部 EEPROM。
- (7) 支持单芯片仿真, 无需专用仿真器。
- (8) 在系统可编程 ISP, 无需编程器。
- (9) 内部 24MHz 高精度 IRC, 无需外接晶振。
- (10) 5 个 16 位定时器, 4 个高速串口, 4 组 16 位 PCA 模块, 8 组 15 位增强型 PWM。
- (11) 支持主机模式和从机模式的 SPI 和 I<sup>2</sup>C。
- (12) 超高速 ADC, 支持 12 位精度 15 通道的模数转换, 速度最快可达 800k 次/s。
- (13) 最多可达 59 个 GPIO 口。

## 思考题与习题

1. 什么是单片机?
2. 单片机内部主要集成了哪些资源?
3. 单片机发展分为哪几个阶段? 有哪些新技术?
4. 单片机主要有哪些特点?
5. 新型单片机主要增加了哪些功能?
6. 单片机的应用有哪些?

## 第 2 章 MCS-51 单片机结构原理

本章讨论 MCS-51 单片机的结构和工作原理，主要内容有 MCS-51 单片机结构及 CPU、引脚信号、存储器结构、时钟与 CPU 时序、单片机的复位方式，以及低功耗工作方式。

本章是单片机的基本内容，为学习后面各个章节的基础。

### 2.1 MCS-51 单片机内部结构及 CPU

#### 2.1.1 MCS-51 单片机结构及特点

MCS-51 单片机的内部功能结构如图 2-1 所示。图 2-1 是以增强型 52 单片机的结构为对象。从图 2-1 可以看出，MCS-51 单片机在一块芯片中集成了微型计算机所具有的所有部件，从功能的角度来看，主要包括以下 9 个部分：

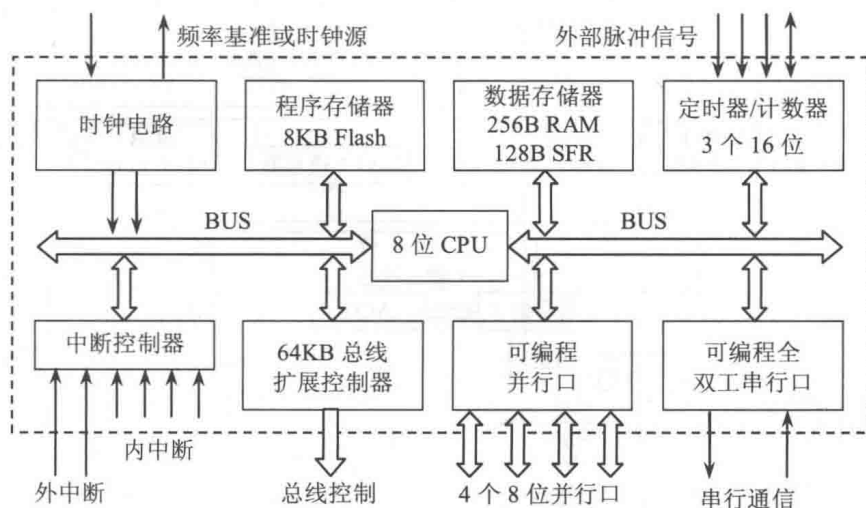


图 2-1 MCS-51 增强型（52 子系列）单片机功能结构图

(1) 一个 8 位的微处理器 CPU。

(2) 8KB 的片内程序存储器 Flash ROM（基本型为 4KB），用于烧录运行的程序、常数数据。

(3) 256B 的片内数据存储器 RAM（基本型为 128B），在程序运行时可以随时写入和读出数据，用于存放函数相互传递的参数、接收的外部数据、运算的中间结果、最后结果以及显示的数据等；128B 特殊功能寄存器（SFR）控制单片机各个部件的运行。

(4) 3 个 16 位的定时器/计数器（基本型仅有 2 个定时器），每个定时器/计数器既可以设置为计数方式，用于对外部事件信号进行计数，也可以设置为定时方式，满足各种定时要求。

(5) 有一个管理 6 个通道中断（基本型为 5 个通道中断）、2 个优先级的中断控制器。

(6) 4 个 8 位并行 I/O 端口，每个端口既可以用作输入，也可以用作输出。

(7) 一个全双工的 UART (通用异步接收发送器) 串行 I/O 口，用于单片机之间的串行通信，或者单片机与 PC 机、其他设备、其他芯片之间的串行通信。

(8) 片内振荡电路和时钟发生器，只需在外面接上一晶振或输入振荡信号，就可产生单片机运行所需要的各种时钟信号。

(9) 有一个可寻址 64KB 外部数据存储器的三总线的控制电路。

以上各个部分通过片内总线相连，在 CPU 的控制下协调工作，实现用户程序的各种功能。

### 2.1.2 MCS-51 单片机内部原理结构

MCS-51 单片机的内部原理结构如图 2-2 所示。图 2-2 是以 89C52 增强型单片机的结构为对象的。与图 2-1 比较，主要的区别是画出了 CPU 的内部结构。图 2-2 的中间部分除了“定时器、串行口”方框之外都属于 CPU 部件。下面先介绍 CPU 部分，对于其他部件，将在本章和后面的章节讲解。

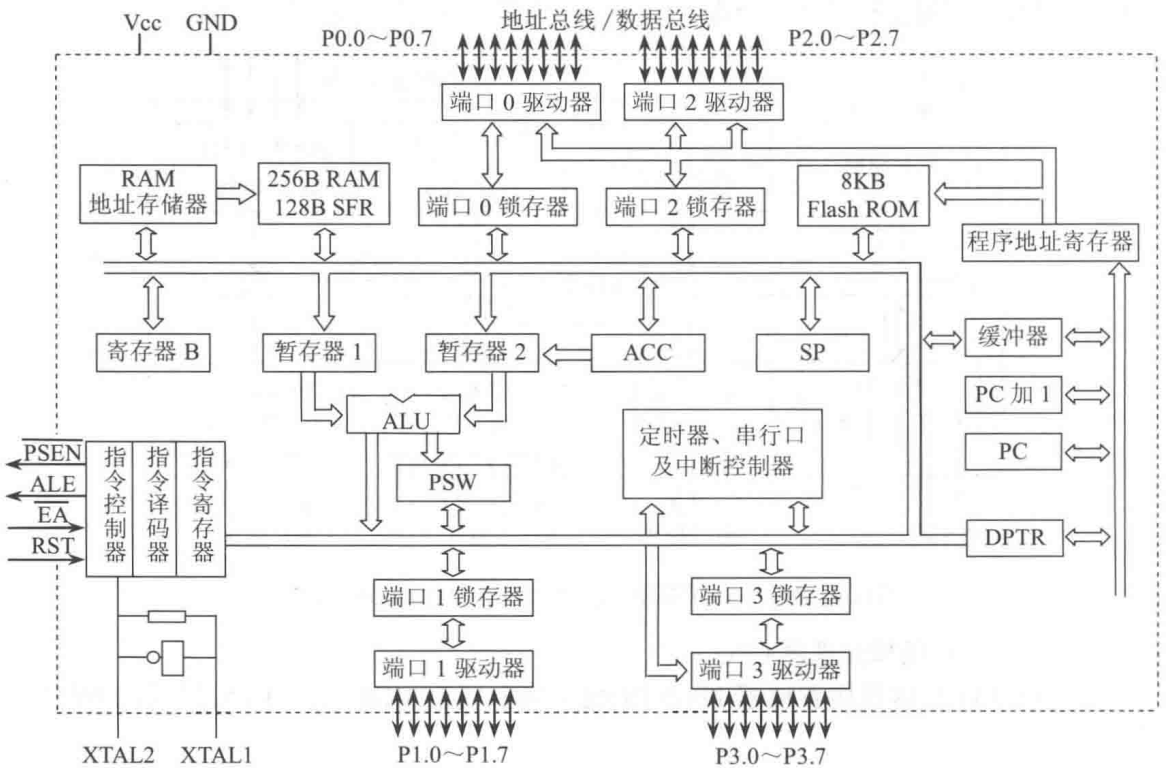


图 2-2 MCS-51 增强型单片机内部原理结构图

### 2.1.3 MCS-51 单片机的 CPU

MCS-51 单片机内部有一个功能强大的 8 位 CPU，它包含两个基本部分：运算器和控制器，下面分别介绍。