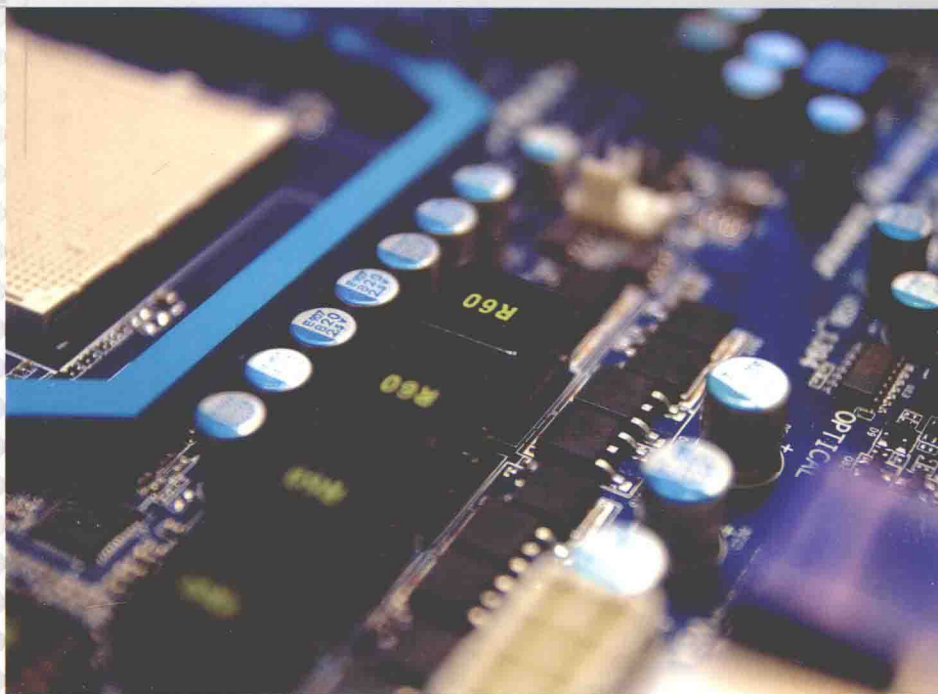


单片机技术视频大课堂

51单片机 C语言轻松入门

(配视频教程)

汤嘉立 杨后川 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

单片机技术视频大课堂

51 单片机 C 语言轻松入门

(配视频教程)

汤嘉立 杨后川 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

51 单片机是对所有兼容 Intel 8051 指令系统的单片机的统称,其始祖是 Intel 公司发布的 8031 单片机。随着电子技术的发展,其内核被 ATMEL、飞利浦、宏晶科技等公司采用,生产出一大批具有相同内核构造但是有不同功能的单片机,它们被统称为 51 系列单片机,是应用最为广泛的 8 位单片机系列之一。51 单片机具有体积小、功能强、价格低的特点,在工业控制、数据采集、智能仪表、机电一体化、家用电器等领域有着广泛的应用,可以大大提高生产、生活的自动化水平。

本书分为 51 单片机基础知识、51 单片机模块应用以及 51 单片机的应用系统三大部分。

本书基础内容丰富、循序渐进、由浅入深,涉及了 51 单片机从硬件模块基础到软件设计各个方面的知识,并基于 Proteus 硬件仿真环境和 Keil μ Vision 软件集成开发环境提供了大量仿真实例。本书还提供了 20 个详细讲解的视频,以供读者深入理解 51 单片机的使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

51 单片机 C 语言轻松入门: 配视频教程/汤嘉立, 杨后川编著. —北京: 电子工业出版社, 2016. 1
(单片机技术视频大课堂)

ISBN 978-7-121-27874-7

I. ①5… II. ①汤… ②杨… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①P368.1 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 307665 号

策划编辑: 王敬栋

责任编辑: 底 波

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 20 字数: 512 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 59.00 元 (含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

行业背景

51 单片机是对所有兼容 Intel 8051 指令系统的单片机的统称，其始祖是 Intel 公司发布的 8031 单片机。随着电子技术的发展，其内核被 ATMEL、飞利浦、宏晶科技等公司采用，生产出一大批具有相同内核构造但是有不同功能的单片机，它们被统称为 51 系列单片机，是应用最为广泛的 8 位单片机系列之一。51 单片机具有体积小、功能强、价格低的特点，在工业控制、数据采集、智能仪表、机电一体化、家用电器等领域有着广泛的应用，可以大大提高生产、生活的自动化水平。

关于本书

本书基于 Keil μ Vision 集成开发环境和 Proteus 硬件仿真环境介绍 51 单片机的基本构成、内部资源以及外部器件的使用方法，包括其体系结构、C 语言、定时计数器等内部资源以及 LED、独立按键、继电器等外部资源。

本书提供了 51 单片机的多个应用实例，在 Proteus 中，读者可观察到这些应用实例的仿真执行情况。本书还制作了 20 个与章节内容对应的讲解视频，以便于读者能更好地理解 51 单片机的使用。

本书分为 51 单片机基础知识、51 单片机模块应用以及 51 单片机的应用系统三大部分。

- 51 单片机基础知识：包括第 1 章至第 4 章，介绍了 51 单片机的内部结构、C 语言、 μ Vision 集成开发环境的使用方法以及 Proteus 硬件仿真环境的使用方法。
- 51 单片机模块应用：包括第 5 章至第 8 章，介绍了 51 单片机的并行端口、中断系统和外部中断、定时计数器、串行通信模块的使用方法。
- 51 单片机应用系统：包括第 9 章至第 11 章，介绍了拨码开关、多位数码管、1602 液晶模块、ADC0809、PCF8563 等人机交互模块和信号采集模块的使用方法，还介绍了包括简易电子琴和手动程控放大器在内的两个综合应用系统。

本书提供的视频内容说明如下。

- 【视频 1】Keil μ Vision 的基础使用方法。
- 【视频 2】Proteus 的基础使用方法。
- 【视频 3】Proteus 中的 51 单片机。
- 【视频 4】Proteus 和 Keil μ Vision 的联合使用。
- 【视频 5】51 单片机的外部引脚和 Proteus 中的示波器使用。
- 【视频 6】发光二极管（LED）的应用。
- 【视频 7】单位数码管的应用。
- 【视频 8】按键和行列扫描键盘的应用。
- 【视频 9】51 单片机的外部中断及其应用。



- 【视频 10】51 单片机的定时计数器应用。
- 【视频 11】51 单片机的串口及其应用。
- 【视频 12】拨码开关的应用。
- 【视频 13】多位数码管驱动芯片 MAX7219 的应用。
- 【视频 14】1602 数字字符液晶的应用。
- 【视频 15】ADC 采集模块的应用。
- 【视频 16】PCF8563 时间芯片的应用。
- 【视频 17】DS18B20 温度芯片的应用。
- 【视频 18】MAX517 模拟信号输出通道应用。
- 【视频 19】简易电子琴应用系统。
- 【视频 20】手动程控放大器应用系统。

本书特色

- 基础内容丰富、循序渐进、由浅入深, 涉及了 51 单片机从硬件模块基础到软件设计各个方面的知识。
- 基于 Proteus 硬件仿真环境提供了大量仿真实例。
- 提供了 20 个详细讲解的视频, 以供读者深入理解 51 单片机的使用。

作者介绍

本书由汤嘉立、杨后川编写。同时参与本书编写的人还有严雨、王会良、李若谷、韩敏、刘洋洋、姚宗旭、严安国、何世兰、王闯、葛祥磊、徐慧超、张玉梅、夏宁。在此对以上人员致以诚挚的谢意。由于时间仓促, 程序较多, 且受学识水平所限, 书中错误之处在所难免, 请广大读者给予批评指正。

编著者



目 录

第1章	51 单片机基础	1
1.1	51 系列单片机的发展	1
1.2	常见 51 单片机型号及其特点	1
1.2.1	AT89S52	1
1.2.2	P87C51x2	2
1.2.3	STC89C52RC	2
1.3	51 单片机的内核结构	3
1.3.1	中央处理器	4
1.3.2	存储器	6
1.3.3	外部引脚	9
1.3.4	时钟模块	11
1.4	51 单片机的工作方式	13
1.4.1	复位工作方式	13
1.4.2	程序执行方式	14
1.4.3	低功耗工作方式	14
1.4.4	其他工作	15
第2章	51 单片机的指令系统和 C 语言	16
2.1	51 单片机的寻址	16
2.1.1	助记符和寻址基础	16
2.1.2	寻址方式	17
2.2	51 单片机的指令	18
2.2.1	数据传送指令	18
2.2.2	算术运算指令	20
2.2.3	逻辑运算指令	22
2.2.4	位操作指令	24
2.2.5	控制转移指令	24
2.3	51 单片机的伪指令和汇编程序设计	27
2.3.1	伪指令	27
2.3.2	汇编程序设计	29
2.4	51 单片机的 C 语言	31
2.4.1	C51 语言的数据类型、运算符和表达式	32
2.4.2	C51 语言的结构	36
2.4.3	C51 语言的函数	36
2.4.4	C51 语言的数组和指针	37
2.4.5	C51 语言的自构造类型	39



2.5	C51 语言程序设计技巧	41
2.5.1	养成良好的编程习惯	41
2.5.2	宏定义	43
2.5.3	条件编译	45
2.5.4	具体指针的应用	47
2.5.5	一些关键字的使用	49

第 3 章 51 单片机的 Keil μ Vision 4 软件开发环境

3.1	Keil μ Vision 4 的工作界面	53
3.2	Keil μ Vision 4 的菜单栏	54
3.2.1	File (文件) 菜单	54
3.2.2	Edit (编辑) 菜单	55
3.2.3	View (视图) 菜单	56
3.2.4	Project (项目) 菜单	56
3.2.5	Flash (Flash 存储器) 菜单	57
3.2.6	Debug (调试) 菜单	57
3.2.7	Peripherals (串行接口) 菜单	58
3.2.8	Tools (工具) 菜单	59
3.2.9	SVCS (版本控制) 菜单	59
3.2.10	Window (窗口) 菜单	60
3.2.11	Help (帮助) 菜单	60
3.3	Keil μ Vision 4 的库函数	60
3.3.1	库文件和头文件分类	61
3.3.2	C51 语言的库函数分类介绍	62
3.4	“Hello World!” ——Keil μ Vision 4 的应用实例	65
3.5	Keil μ Vision 4 的错误信息	69
3.5.1	变量未被使用警告 (Warning 280)	69
3.5.2	函数未被声明警告 (Warning C206)	70
3.5.3	头文件无法打开错误 (Error C318)	71
3.5.4	函数名称重复定义错误 (Error C237)	72
3.5.5	函数未被调用警告	72
3.5.6	函数未定义警告 (Warning C206)	73
3.5.7	内存空间溢出错误	74
3.5.8	函数重入警告	74
3.5.9	常见编译器错误列表	75

第 4 章 51 单片机的硬件开发工具和 Proteus 硬件仿真环境

4.1	51 单片机的硬件系统开发流程	79
4.2	51 单片机的硬件开发工具	80
4.2.1	编程器	80
4.2.2	仿真器	80
4.2.3	数字万用表	82

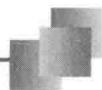


4.2.4	数字示波器	82
4.3	Proteus 应用基础	83
4.3.1	Proteus 的运行界面和支持的文件	84
4.3.2	Proteus 的菜单	85
4.3.3	Proteus 的快捷工具栏和工具箱	98
4.4	Proteus 的使用流程	100
4.5	Proteus 中的 51 单片机及其使用	101
4.6	Proteus 和 Keil μ Vision 4 联合使用	102
4.6.1	建立仿真文件和源文件	102
4.6.2	联合调试中仿真的运行控制	104
4.6.3	联合调试中的仿真数据记录	104
4.6.4	联合调试中仿真的观察	104
4.6.5	联合调试中 51 单片机的内部资源观察	107
4.6.6	在 Keil μ Vision 4 中调用 Proteus 仿真器	108
第 5 章	51 单片机的并行端口	110
5.1	数据和地址端口 P0 和 P2	110
5.2	普通 I/O 端口 P1	112
5.3	复用端口 P3	112
5.4	数据/地址总线扩展方法	113
5.5	51 单片机的并行端口应用实例	115
5.5.1	并行端口输出高/低脉冲电平实例	115
5.5.2	并行端口驱动发光二极管 (LED) 实例	118
5.5.3	并行端口驱动单位数码管实例	123
5.5.4	并行端口驱动独立按键实例	129
5.5.5	并行端口驱动行列扫描键盘实例	134
第 6 章	51 单片机的中断系统和外部中断	141
6.1	51 单片机的中断系统	141
6.2	51 单片机的中断处理过程	142
6.2.1	51 单片机中断系统的初始化步骤	142
6.2.2	51 单片机的中断服务子程序处理流程	142
6.3	51 单片机的中断服务子程序设计	143
6.4	51 单片机的外部中断	144
6.5	51 单片机的外部中断应用实例	144
6.5.1	中断计数 (三极管)	144
6.5.2	低电平中断的应用	149
6.5.3	多个信号共用一个外部中断	152
第 7 章	51 单片机的定时计数器	157
7.1	51 单片机定时计数器的组成	157
7.2	51 单片机定时计数器的寄存器	157

7.2.1	工作方式控制寄存器 TMOD	157
7.2.2	控制寄存器 TCON	158
7.2.3	数据寄存器 TH0、TL0 和 TH1、TL1	159
7.3	51 单片机定时计数器的工作方式	159
7.3.1	工作方式 0	159
7.3.2	工作方式 1	159
7.3.3	工作方式 2	160
7.3.4	工作方式 3	161
7.3.5	定时计数器的中断	161
7.4	使用 51 单片机的计数器	161
7.4.1	使用定时功能	161
7.4.2	使用计数功能	162
7.4.3	使用门控信号	162
7.4.4	读取定时计数器的值	162
7.5	定时计数器 T2	163
7.5.1	T2 的相关寄存器	163
7.5.2	T2 的工作方式	164
7.5.3	T2 的中断处理	165
7.6	51 单片机定时计数器应用实例	165
7.6.1	T0/T1 控制外部引脚输出方波	165
7.6.2	PWM 波形输出	168
7.6.3	对外部脉冲计数	170
7.6.4	测量脉冲宽度	173
7.6.5	使用 T2 输出方波	175
7.6.6	使用 T2 进行精确定时	177
7.6.7	使用 T0/T1 扩展外部中断	179

第 8 章	51 单片机的串行通信模块	182
8.1	串行通信基础	182
8.2	51 单片机的串行通信模块构成	182
8.3	51 单片机的串行通信模块的寄存器	182
8.3.1	串行通信模块控制寄存器 (SCON)	183
8.3.2	串行通信模块数据寄存器 (SBUF)	183
8.3.3	电源管理寄存器 (PCON)	184
8.4	51 单片机的串行通信模块的工作方式	184
8.4.1	工作方式 0	184
8.4.2	工作方式 1	185
8.4.3	工作方式 2 和工作方式 3	186
8.4.4	串行通信模块的中断	187
8.5	51 单片机的串行通信模块应用实例	187
8.5.1	串口数据发送	187
8.5.2	串口和 PC 进行通信	191





8.5.3	使用串口扩展外部中断	199
8.5.4	使用普通 I/O 引脚模拟串口通信	201
第9章	51 单片机的人机交互模块	207
9.1	使用拨码开关设置地址	207
9.1.1	拨码开关基础	207
9.1.2	Proteus 中的拨码开关	207
9.1.3	实例设计思路	209
9.1.4	实例的 Proteus 应用电路	209
9.1.5	实例的应用代码	210
9.1.6	实例的仿真结果和说明	211
9.2	多位数码管显示流水数字	212
9.2.1	多位数码管基础	212
9.2.2	Proteus 中的多位数码管	213
9.2.3	实例的设计思路	213
9.2.4	实例的 Proteus 应用电路	213
9.2.5	实例的应用代码	215
9.2.6	实例的仿真结果和说明	217
9.3	多位数码管驱动芯片 MAX7219 显示日期	218
9.3.1	MAX7219 基础	218
9.3.2	Proteus 中的 MAX7219	222
9.3.3	实例的设计思路	223
9.3.4	实例的 Proteus 应用电路	223
9.3.5	实例的应用代码	224
9.3.6	实例的仿真结果和说明	226
9.4	1602 数字字符液晶显示“Hello 51MCU”	226
9.4.1	1602 液晶基础	227
9.4.2	Proteus 中的 1602 液晶	229
9.4.3	实例的设计思路	230
9.4.4	实例的 Proteus 应用电路	230
9.4.5	实例的应用代码	231
9.4.6	实例的仿真结果和说明	233
第10章	51 单片机的信号采集和输出通道	234
10.1	使用 ADC0809 采集模拟信号	234
10.1.1	ADC0809 基础	234
10.1.2	Proteus 中的 ADC0809	235
10.1.3	实例的设计思路	236
10.1.4	实例的 Proteus 应用电路	236
10.1.5	实例的应用代码	237
10.1.6	实例的仿真结果和说明	240
10.2	使用 TLC2543 采集模拟信号	240

10.2.1	TLC2543 基础	240
10.2.2	Proteus 中的 TLC2543	242
10.2.3	实例的设计思路	243
10.2.4	实例的 Proteus 应用电路	243
10.2.5	实例的应用代码	244
10.2.6	实例的仿真结果和说明	246
10.3	使用 PCF8563 获得当前时间	247
10.3.1	PCF8563 基础	247
10.3.2	Proteus 中的 PCF8563	250
10.3.3	实例的设计思路	251
10.3.4	实例的 Proteus 应用电路	251
10.3.5	实例的应用代码	252
10.3.6	实例的仿真结果和说明	260
10.4	使用 DS18B20 测量温度	261
10.4.1	DS18B20 基础	261
10.4.2	Proteus 中的 DS18B20	263
10.4.3	实例的设计思路	264
10.4.4	实例的 Proteus 应用电路	265
10.4.5	实例的应用代码	266
10.4.6	实例的仿真结果和说明	274
10.5	使用 MAX517 输出模拟信号	274
10.5.1	MAX517 基础	275
10.5.2	Proteus 中的 MAX517	276
10.5.3	实例的设计思路	277
10.5.4	实例的 Proteus 应用电路	277
10.5.5	实例的应用代码	278
10.5.6	实例的仿真结果和说明	283
第 11 章	51 单片机应用系统	285
11.1	简易电子琴	285
11.1.1	应用系统背景	285
11.1.2	设计思路	286
11.1.3	硬件系统设计	287
11.1.4	软件系统设计	290
11.1.5	应用系统的仿真和总结	295
11.2	手动程控放大器	296
11.2.1	应用系统背景	296
11.2.2	设计思路	296
11.2.3	硬件系统设计	300
11.2.4	软件系统设计	304
11.2.5	应用系统的仿真和总结	309



第1章 51 单片机基础

51 单片机是对所有兼容 Intel 8031 指令系统的单片机的统称，其始祖是 Intel 公司发布的 8031 单片机。随着电子技术的发展，其内核被 ATMEL、飞利浦、宏晶科技等公司采用，生产出了一大批具有相同内核构造但是有不同功能的单片机，它们被统称为 51 系列单片机，是应用最为广泛的 8 位单片机之一。

本章提供了如下视频配合学习。

【视频 3】Proteus 中的 51 单片机（20 分钟）。

1.1 51 系列单片机的发展

自从 Intel 公司发布 51 单片机内核以来，许多公司在该内核的基础上进行改进、增强，推出了具有不同特色、功能更加丰富的基于 51 内核的单片机。这些单片机或具有 AD 接口，或具有 USB 控制接口，或具有 MP3 解码器，但是由于它们都采用相同的内核，所以被统称为 51 系列单片机。它们有大致相同的体系结构，有相同的基本指令系统，可以采用相同的开发工具。

进入 20 世纪 90 年代后，随着微电子技术的发展，51 系列单片机的发展呈现以下的趋势。

- 集成度提高：多种功能都集成在一块 51 单片机上，可以不用扩展外部资源或者扩展很少的外部资源就可以完成系统的功能。
- 扩展方式增多：51 系列单片机不仅使用并行端口和串行端口进行扩展，出现了 SPI、I²C 等多种总线扩展接口。
- 工作电压降低：51 系列单片机的工作电压从开始的 5V 降低到 3.3V 和 1.8V，低功耗带来了更加稳定的系统可靠性和在便携系统中更加持久的使用时间。

1.2 常见 51 单片机型号及其特点

目前在市场上有超过 100 种具体的 51 单片机型号，其中应用最多的分别是 ATMEL 公司的 AT89S52，NXP（原飞利浦半导体）公司的 P87C51x2 和我国宏晶科技公司的 STC89C52。

1.2.1 AT89S52

ATMEL 公司是目前最著名的 51 系列单片机生产厂商之一，AT89S52 是其推出的一款在系统可编程（ISP - In System Programmed）单片机，通过相应的 ISP 软件和一根并行接口或者串行接口下载线，用户可以对单片机进行编程操作，如图 1.1 所示为 AT89S52 单片机的



实物示意, 有 DIP-40 (Dual In-line Package, 双列直插封装)、PLCC-44 (Plastic Leaded Chip Carrier, 带引线的塑料芯片载体) 等多种封装形式, 其主要特性概述如下。

- 提供了有三级安全保护的 8KB 在系统可编程 FLASH 程序存储器和 256B 的内部数据存储器。
- 可以在 4.0 ~ 5.5V 的电压下工作。
- 提供双数据指针可以使得程序运行更快。
- 最高工作频率可以达到 33MHz。
- 提供 32 个可编程 I/O 引脚。
- 内置 3 个 16 位定时计数器。
- 内置一个全双工的串行通信口。
- 支持 ISP 程序下载。
- 7 个中断源, 支持在掉电模式下响应中断。

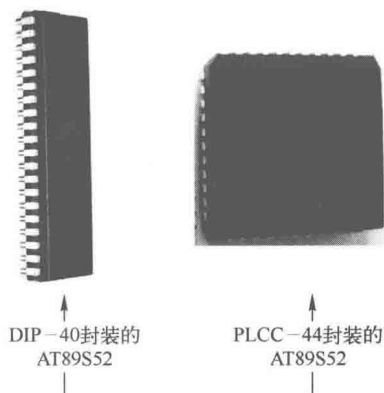


图 1.1 AT89S52 的实物示意



注意

本书中所有的实例均是基于 AT89S52 单片机的。

1.2.2 P87C51x2

NXP (恩智浦) 是 2006 年年末从飞利浦公司独立出来的半导体公司, 其业务已拥有 50 年的悠久历史, 主要提供各种半导体产品与软件, 其提供了大量 51 系列单片机, 包括 FLASH、OTP (一次性编程)、ROM 和无 ROM 器件, 其中最常用的型号是 P87C51x2, 如图 1.2 所示为其 DIP-40 形式封装的实物示意, 同样具有 PLCC 和 DIP 两种封装形式, 其主要特性概述如下。



图 1.2 DIP-40 封装的 P87C51x2 的实物

- 提供了 4KB 的 EPROM、128B 的 RAM 和布尔处理器。
- 全静态操作, 支持低电压操作 (工作电压为 2.7 ~ 5.5V)。
- 支持 6 时钟工作模式, 最高工作频率可以达到 33MHz。
- 提供了双数据指针 DPTR、OTP 保密位。
- 提供了 6 个中断源并且和标准 51 单片机相比增加了 4 个中断优先等级。
- 提供了 3 个 16 位的定时/计数器, 其中 T2 支持捕获和比较功能, 并且可以提供可编程时钟输出。
- 提供了 EMI (禁止 ALE, 输出斜率控制和 6 时钟模式) 功能。

1.2.3 STC89C52RC

STC89C52RC 是我国的单片机设计公司宏基科技的基础单片机型号之一, 其最大的特点是支持串口下载, 可以很方便地修改内部软件, 非常适合制作开发板和系统原型。此外, 该公司还提供了大量拥有不同扩展功能的型号以供用户选择。



图 1.3 是 STC89C52RC 的实物示意，提供了 DIP - 40、PLCC - 44 和 LQFP - 44 (Low profile Quad Flat Package, 薄方型扁平式封装) 3 种不同的封装，其主要特性概述如下。

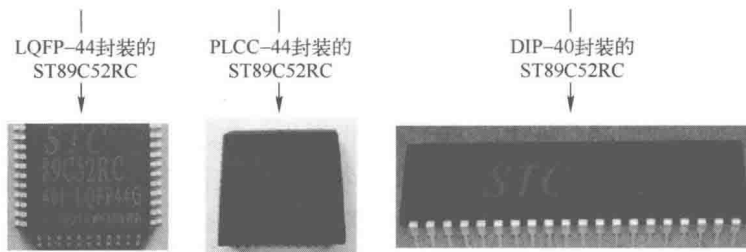


图 1.3 STC89C52RC 的实物

- 提供了 8KB 的 FLASH 存储器、5KB 的 E²PROM 和 512B 的 SRAM 空间。
- 工作电压为 3.5 ~ 5.5V，最高工作频率可以达到 40MHz。
- 内置 3 个可编程定时计数器，提供了 39 个可编程 I/O 引脚端口（增加了 P4 口并且可以位寻址）。
- 支持掉电唤醒外部中断，内置复位系统和看门狗。
- 支持 ISP（在系统编程）和 IAP（在应用编程），可以通过串口进行编程操作。
- 价格低廉。

1.3 51 单片机的内核结构

51 单片机系统通常由 8 位中央处理器、时钟模块、I/O 端口、内部程序存储器、内部数据存储器、2 个 16 位定时计数器、中断系统和一个串行通信模块组成，如图 1.4 所示。

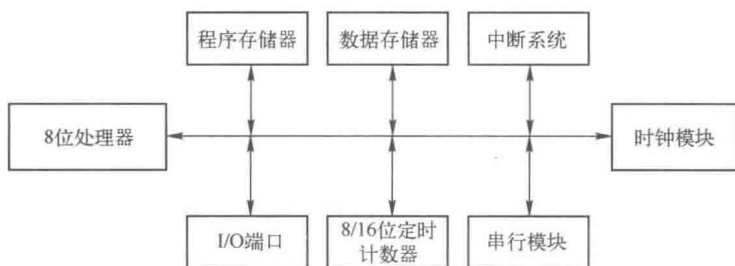


图 1.4 51 单片机的内部结构

51 单片机内部模块的功能如下。

- 8 位处理器：这是 51 单片机的核心部件，执行预先设置好的代码，负责数据的计算和逻辑的控制等。
- 程序存储器：用于存放待执行的程序代码。
- 数据存储器：用于存放程序执行过程中的各种数据。
- 中断系统：根据 51 单片机相应的寄存器的设置来监测和处理单片机的各种中断事件并且提交给处理器处理。
- 时钟模块：以外部时钟源为基准，产生单片机各个模块所需要的各个时钟信号。

- 串行模块：根据相应的寄存器设置进行串行数据通信。
- 8/16 位定时计数器：根据相应寄存器的设置进行定时或者计数。
- I/O 端口：作为数据、地址或者控制信号通道和外围器件进行数据交换。

1.3.1 中央处理器

8 位处理器是单片机的核心模块，由运算逻辑模块和控制逻辑模块组成。运算逻辑模块由算术逻辑运算单元 ALU、累加器 ACC、寄存器 B、暂存寄存器 TR、程序状态字寄存器 PSW、程序计数器 PC、堆栈指针 SP、数据指针 DPRT 以及布尔处理器组成；控制逻辑模块则由指令寄存器 IR、指令译码器和定时控制逻辑电路等组成。

1. 算术逻辑运算器 ALU

算术逻辑运算器 ALU 主要负责对数据进行算术运算操作和逻辑运算操作，具体的运算操作如下。

- 带进位加法。
- 不带进位加法。
- 带借位减法。
- 8 位无符号数乘、除法。
- 自加 1、自减 1 操作。
- 左右移位操作。
- 半字节交换。
- 比较和条件转移等操作。

ALU 的操作数一般存放在累加器 ACC 或者暂存寄存器 TR 中，运算结果则可以选择保存在 ACC、通用寄存器或者其他普通存储单元中。而在乘除法运算中，使用寄存器 B 中存放一个操作数并且在运算结束之后存放 8 位结果数据。



注意

操作数是指令的操作对象，运算结果则为指令的操作结果，指令则是对操作数进行操作的命令。

2. 累加器 ACC 和寄存器 B

累加器 ACC 是处理器模块中使用最为频繁的寄存器，全部的算术运算操作以及绝大多数的数据传送操作都要使用 ACC。

- 加法和减法：使用 ACC 存放运算结果。
- 乘法：使用 ACC 存放一个操作数，使用寄存器 B 存放另外一个操作数，运算结果则放在 ACC 和寄存器 B 组成的 AB 寄存器对中。
- 除法：使用 ACC 存放被除数，使用寄存器 B 存放除数，计算得到的商数放在 ACC 中，而余数放到寄存器 B 中。

3. 程序状态字寄存器 PSW

程序状态字寄存器 PSW 用于指示程序运行过程中的系统相关状态，其中 7 位用于存放



ALU 单元运算结果的特征信息，1 位为保留位未使用，程序状态字寄存器的具体含义如表 1.1 所示。

表 1.1 程序状态字

PSW. 7	PSW. 6	PSW. 5	PSW. 4	PSW. 3	PSW. 2	PSW. 1	PSW. 0
CY	AC	FO	RS1	RS0	OV	保留位	P

程序状态字的内部位定义如下。

- CY: 进位、借位标志，在计算过程中如果有进位、借位产生时该位被置 1，否则清零。
- AC: 半进位标志，当参与计算的数据第 3 位向第 4 位有进位或者借位产生时，该位被置 1，否则清零。
- FO: 供用户自由使用的标志位，常常用于控制程序的跳转，需要用户自己控制其置 1 或者清零。
- RS1, RS0: 寄存器组选择位，由用户自行置 1 或者清零，用于选择使用的工作寄存器区，RS1 和 RS0 赋值以及对应的工作寄存器组如表 1.2 所示。
- OV: 溢出标志位，当带符号数的运算结果超出 $-128 \sim +127$ 的范围、无符号数运算结果超过 255 或者无符号除法除数为 0 时，OV 被置 1，否则被清零。
- P: 奇偶标志位，用于表示累加器 ACC 中“1”的个数，当该个数为奇数时，P 标志被置 1，否则被清零。

表 1.2 RS1 和 RS0 赋值以及对应的工作寄存器

RS1, RS0	寄存器组 (地址单元)	RS1, RS0	寄存器组 (地址单元)
00	寄存器组 0(00H~07H)	10	寄存器组 2(10H~17H)
01	寄存器组 1(08H~0FH)	11	寄存器组 3(18H~1FH)

51 系列单片机共有 4 个寄存器组，每个寄存器组含有 8 个单字节寄存器，这些寄存器常用于保存程序执行过程中各个变量的值，合理地使用寄存器组切换有利于加快程序代码的执行速度。

4. 布尔处理器

布尔处理器用于 51 单片机的位操作，在位操作中使用进位标志 CY 作为累加器，可以对位变量进行置位、清除、取反、位逻辑与、位逻辑或、位逻辑异或、数据传送以及相应的判断跳转操作，位操作是 51 单片机中非常重要的操作，充分体现了嵌入式处理器的特点。

5. 程序计数器 PC

程序计数器 PC 是一个 16 位计数器，用于存放下一条指令在程序存储器中的地址，可寻址范围为 $0 \sim 64\text{KB}$ 。

6. 指令寄存器 IR 和指令译码器

指令寄存器 IR 用于存放 51 单片机当前正在执行的指令，而指令译码器对 IR 中指令操作码进行分析解释，产生相应的控制逻辑。

7. 数据指针 DPTR

数据指针 DPTR 用于寻址外部数据存储器, 寻址范围为 0 ~ 64KB。

8. 堆栈指针 SP

堆栈是一种将数据按序排列的数据结构, 51 单片机的堆栈是内存中一段连续的空间, 堆栈指针 SP 用来指示堆栈顶部在单片机内部数据存储器中的位置, 可以由用户的程序代码修改。当执行进栈操作时 SP 自动加 1, 然后把数据放入堆栈, 当执行出栈操作时 SP 自动减 1, 然后把数据送出堆栈。当单片机被复位后 SP 初始化为 0x07H。

1.3.2 存储器

51 系列单片机的存储器采用的是哈佛结构, 其分别有独立的寻址指令, 编址空间和相应的控制寄存器, 如图 1.5 所示为 51 系列单片机的存储器组成结构, 从中可以看到 51 单片机的存储器可以分为片内程序存储器、片外程序存储器、片内数据存储器 and 片外数据存储器四部分, 每部分都有独立的地址编码。

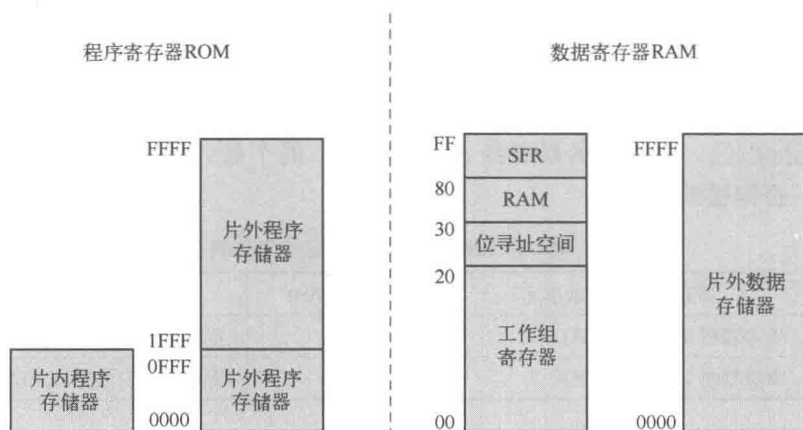


图 1.5 51 单片机的存储器组成结构

注意

51 单片机的存储器包含很多存储单元, 为区分不同的内存单元, 单片机对每个存储器单元进行编号, 存储器单元的编号即称为存储器单元的地址, 每个存储器单元存储的若干位二进制数据成为存储器单元的数据。

1. 51 单片机的程序存储器

51 单片机的程序存储器由片内程序存储器和片外程序存储器组成, 用于存放待执行的程序代码。因为 PC 程序指针和地址总线是 16 位的, 所以片内和片外的程序存储器最大编址总和为 64KB, 其中外部程序存储器的低部分编址和内部程序存储器的编址重合, 代码只能选择存放到其中的一个地方, 使用外部引脚 EA 来选择。当该引脚加上高电平时, PC 程序指针起始指向的是内部程序存储器, 程序代码从内部存储器开始执行; 当该引脚加上低电

