

STC公司大学计划推荐用书

140多个实例 | 完整的教学课件 | 系统的教学视频



开发者书库



C Programming on STC Microcontroller

8051 Architecture, Programming Examples and Project Developing

STC单片机C语言 程序设计

8051体系架构、编程实例及项目实战

何宾◎编著 姚永平◎审

He Bin

Yao Yongping



清华大学出版社

清華

开发者书库



C Programming on STC Microcontroller
8051 Architecture, Programming Examples and Project Developing

STC单片机C语言 程序设计

8051体系架构、编程实例及项目实战

何宾◎编著
He Bin

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地论述了 STC 单片机的 C 语言程序设计方法。全书共分为 27 章, 主要内容包括: 单片机基础知识, STC 单片机硬件知识, 数值表示及转换, STC 单片机 CPU 子系统, STC 单片机 CPU 指令系统, STC 单片机集成开发环境, STC 单片机汇编语言编程基础, STC 单片机 C 语言编程入门, STC 单片机 C 语言变量和数据类型, STC 单片机 C 语言运算符, STC 单片机 C 语言描述语句, STC 单片机 C 语言数组, STC 单片机 C 语言指针, STC 单片机 C 语言函数, STC 单片机 C 语言预处理指令, STC 单片机 C 语言复杂数据结构, STC 单片机 C 语言高级编程技术, STC 单片机时钟、复位和电源模式原理及实现, STC 单片机比较器原理及实现, STC 单片机计数器和定时器原理及实现, STC 单片机异步串行收发器原理及实现, STC 单片机 ADC 原理及实现, STC 单片机 SPI 原理及实现, STC 单片机 CCP/PCA/PWM 模块原理及实现, STC 单片机增强型 PWM 发生器原理及实现, RTX51 操作系统原理及实现, 综合项目实例: 风扇转速控制系统的设计与实现。

本书将 C 语言程序设计与 STC 单片机的各个知识点进行系统化融合, 不仅系统地介绍 C 语言程序设计的各个知识点及其在单片机中的具体应用, 而且更加突出学习方法。为了方便读者自学, 本书提供了大量的设计案例和公开教学视频。

本书可作为读者零基础学习单片机 C 语言程序设计的参考用书, 也可作为单片机竞赛、单片机认证考试的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

STC 单片机 C 语言程序设计: 8051 体系架构、编程实例及项目实战/何宾编著. —北京: 清华大学出版社, 2018

(清华开发者书库)

ISBN 978-7-302-48202-4

I. ①S… II. ①何… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1 ②TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 209660 号

责任编辑: 盛东亮

封面设计: 李召霞

责任校对: 时翠兰

责任印制: 丛怀宇

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者: 三河市金元印装有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 41.5 插 页: 3 字 数: 1016 千字

版 次: 2018 年 12 月第 1 版 印 次: 2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 129.00 元

产品编号: 076175-01

前言

PREFACE

嵌入式系统技术正朝着“软件”和“硬件”协同设计、协同调试和协同仿真的方向发展。C语言不再只是纯粹意义上的软件或者编程工具，而是成为嵌入式系统设计的基础和必备的知识。

从整个嵌入式系统开发的角度来看，要能够真正使用C语言进行嵌入式系统的软件开发，必须掌握最基本的数字逻辑、处理器和指令集的知识，这里说的掌握知识不是指简单地记住指令集或者C语言的语法，而是要能够“清楚”知道C语言的每个语法知识点与处理器架构、指令集之间的关系。

目前，嵌入式开发中使用ARM处理器变得非常流行，但是由于ARM处理器结构本身比较复杂，并且内核比较封闭，对于初学者而言，要在ARM处理器上掌握C语言程序设计的各个知识点是一件比较痛苦的事情。相对而言，传统的8051，尤其是STC公司的增强型8051单片机处理器内核以及结构框架比较简单，并且开发环境采用了Keil μ Vision5软件工具，这对于一个初学者而言，可以看到构成嵌入式系统的各个细节，包括处理器内核架构、指令集和接口与C语言之间的关系。

通过Keil μ Vision5集成开发环境提供的“可视化”软件仿真和硬件调试(仿真)工具，读者可以清楚地知道在运行C语言程序时，8051内核寄存器的细节、片内基本RAM和片内扩展RAM的内容以及C语言与指令集的关系。对于C语言中的语法难点，如数组、函数、指针和结构体等概念，也可以一目了然。

基于STC公司可硬件仿真的IAP15W4K58S4单片机学习C语言程序设计的最大好处在于，读者能真正理解以C语言为代表的“软件”和以STC增强型8051单片机为代表的“硬件”两者之间的关系。特别需要指出的是，通过STC公司可硬件仿真的IAP15W4K58S4单片机，读者可以在真实的单片机硬件平台上观察C语言运行的所有细节问题。在Keil μ Vision5上的纯软件仿真，并不能替代硬件仿真(硬件调试)，这是因为纯粹的软件仿真很难模拟一些硬件环境，如中断和接口等。

作者编写本书的目的在于力图从“软件”和“硬件”两个角度反映出C语言的本质和内在特点。通过把C语言程序设计和单片机进行有机结合，使得读者从零起点学习C语言不再是一件枯燥和痛苦的事情。全书共分为27章，以STC公司最新推出的IAP15W4K58S4单片机为硬件平台，使用Keil最新的 μ Vision5集成开发系统，设计了大量C语言程序案例，这些案例都通过硬件和软件进行了验证和测试。

为了方便读者的学习，本书配套提供所有设计实例的源代码以及公开教学视频资源，读者可通过本书提供的学习说明获取相关的资源。

在编写本书的过程中，作者参考了STC公司最新的技术文档和手册，以及STC学习板

原理图和 PCB 图,在此向 STC 公司表示衷心的感谢。作者的学生汤宗美、张艳辉、王帅和王中正负责了部分章节的编写工作,汤宗美对本书的全部稿件进行了初步的完善和修改。在本书编写的过程中,得到了 STC 公司员工在技术和市场服务方面的热心帮助,特别是得到了 STC 公司姚永平先生的支持和帮助,他对作者在本书编写过程中遇到的各种技术问题进行了耐心细致的解答。在本书的出版过程中,也得到了清华大学出版社各位编辑的帮助和指导,在此也表示深深的谢意。

由于作者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

作 者

2018 年 8 月于北京

学习说明

STUDY SHOWS

本书视频课堂地址

本书配套高清视频可到北京汇众新特科技有限公司网络课堂观看学习,网址:

<http://www.edawiki.com>

本书教学课件(PPT)及工程文件下载地址

北京汇众新特科技有限公司页面,网址:

<http://www.edawiki.com>

注意: 所有教学课件及工程文件仅限购买本书的读者学习使用,不得以任何方式传播!

本书作者联络方式

何滨的网站: <http://www.gpnewtech.com>

何滨的电子邮件: hb@gpnewtech.com

单片机学习 QQ 群: 457066869

赠送仿真器和实验箱事宜由 STC 公司负责

STC 公司官网: <http://www.stcmcu.com>, <http://www.gxwmcu.com>

市场及服务支持热线: 0513-55012928,0513-55012929

购买本书配套的 GPNT-SMK-1/2 开发板及实验箱由北京汇众新特科技有限公司负责

采用本书作为教材的高校教师将免费获得本书作者赠送的单片机开发板

市场及服务支持热线: 010-83139176

目录

CONTENTS

第 1 章 单片机基础知识	1
1.1 单片机发展历史	1
1.2 单片机内部架构	1
1.3 单片机与嵌入式系统的关系	3
1.4 单片机硬件开发平台	4
1.5 运行第一个单片机程序	5
1.6 单片机编程语言	8
第 2 章 STC 单片机硬件知识	11
2.1 STC 单片机发展历史	11
2.2 STC 单片机 IAP 和 ISP	12
2.3 STC 单片机命名规则及封装	12
2.3.1 命名规则	12
2.3.2 封装类型	14
2.3.3 引脚定义	16
2.4 STC 单片机结构及功能	22
2.5 STC 单片机的 I/O 驱动原理	24
2.6 STC 单片机硬件下载电路设计	26
2.6.1 通过 USB-串口芯片的下载电路	26
2.6.2 USB 直接下载编程电路	26
2.7 STC 单片机电源系统设计	28
2.8 调试单片机系统所用到的仪器	28
第 3 章 数值表示及转换	30
3.1 常用数制	30
3.1.1 二进制	30
3.1.2 十进制	30
3.1.3 十六进制	30
3.2 正数表示方法	32
3.2.1 正整数的表示	32
3.2.2 正小数的表示	32
3.3 正数码制转换	33
3.3.1 十进制整数转换成其他进制数	33
3.3.2 十进制小数转换成二进制数	34
3.4 负数表示方法	35

3.4.1	符号幅度表示法	35
3.4.2	补码表示法	36
3.5	负数补码的计算	36
3.5.1	负整数补码的计算	36
3.5.2	负小数补码的计算	38
3.6	定点数表示	38
3.7	浮点数表示	39
第4章	STC 单片机 CPU 子系统	40
4.1	STC 单片机 CPU 内核功能单元	40
4.1.1	控制器	42
4.1.2	运算器	47
4.1.3	特殊功能寄存器	49
4.2	STC 单片机存储器结构和地址空间	57
4.2.1	程序 Flash 存储器	57
4.2.2	数据 Flash 存储器	58
4.2.3	内部数据 RAM	61
4.2.4	外部数据存储器	64
4.2.5	字节存储顺序	66
4.3	STC 单片机中断系统原理及功能	67
4.3.1	中断原理	68
4.3.2	中断系统结构	69
4.3.3	中断优先级处理	74
4.3.4	中断优先级控制寄存器	74
4.3.5	中断向量表	76
第5章	STC 单片机 CPU 指令系统	81
5.1	STC 单片机 CPU 寻址模式	81
5.1.1	立即数寻址模式	82
5.1.2	直接寻址模式	82
5.1.3	间接寻址模式	82
5.1.4	寄存器寻址模式	83
5.1.5	相对寻址模式	83
5.1.6	变址寻址模式	83
5.1.7	位寻址模式	84
5.2	STC 单片机 CPU 指令集	84
5.2.1	算术指令	85
5.2.2	逻辑指令	94
5.2.3	数据传送指令	102
5.2.4	布尔指令	111
5.2.5	程序分支指令	117
第6章	STC 单片机集成开发环境	125
6.1	Keil μ Vision 集成开发环境介绍	125
6.1.1	软件功能介绍	125

6.1.2	软件的下载	126
6.1.3	软件的安装	128
6.1.4	导入 STC 单片机元件库	128
6.1.5	软件的启动	130
6.2	Keil μ Vision 软件开发流程介绍	130
6.2.1	明确软件需求	130
6.2.2	创建设计工程	131
6.2.3	编写汇编/C 软件代码	131
6.2.4	汇编器对汇编语言处理	132
6.2.5	C 编译器对 C 语言进行处理	132
6.2.6	库管理器生成库文件	132
6.2.7	链接器生成绝对目标模块文件	133
6.2.8	目标模块文件到 HEX 转换器	133
6.2.9	调试器调试目标代码	133
6.3	Keil μ Vision 软件开发流程实现	134
6.3.1	建立新的设计工程	134
6.3.2	配置文件结构	135
6.3.3	设置工程选项	136
6.3.4	添加新的源文件	147
6.3.5	建立设计	148
6.3.6	运行设计	148
6.3.7	启动硬件仿真	149
6.4	U8W 编程器	150
6.4.1	U8W 编程器接口和功能	152
6.4.2	U8W 在线联机下载	152
6.4.3	U8W 脱机下载	153
第 7 章	STC 单片机汇编语言编程基础	155
7.1	汇编语言程序结构	155
7.2	汇编代码中段的分配	156
7.2.1	CODE 段	156
7.2.2	BIT 段	157
7.2.3	IDATA 段	157
7.2.4	DATA 段	158
7.2.5	XDATA 段	159
7.3	汇编语言符号及规则	159
7.3.1	符号的命名规则	159
7.3.2	符号的作用	160
7.4	汇编语言操作数描述	160
7.4.1	数字	160
7.4.2	字符	161
7.4.3	字符串	161
7.4.4	位置计数器	161

7.4.5	操作符	161
7.4.6	表达式	162
7.5	汇编语言控制描述	163
7.5.1	地址控制	163
7.5.2	条件汇编	163
7.5.3	存储器初始化	164
7.5.4	分配存储器空间	164
7.5.5	过程声明	165
7.5.6	程序链接	165
7.5.7	段控制	166
7.5.8	杂项	167
7.6	汇编语言设计流程	167
7.6.1	建立新的设计工程	167
7.6.2	添加新的汇编语言文件	167
7.6.3	建立设计	168
7.6.4	分析.m51文件	169
7.6.5	分析.lst文件	170
7.6.6	分析HEX文件	171
7.6.7	程序软件仿真	172
7.6.8	程序硬件仿真	179
7.7	单片机端口控制汇编语言程序设计	182
7.7.1	设计原理	182
7.7.2	建立新的工程	183
7.7.3	添加汇编语言文件	183
7.7.4	建立设计	184
7.7.5	下载设计	185
7.8	单片机中断汇编语言程序设计	185
7.8.1	设计原理	185
7.8.2	建立新的工程	186
7.8.3	添加汇编语言文件	187
7.8.4	分析.lst文件	188
7.8.5	建立设计	189
7.8.6	下载设计	189
7.8.7	硬件仿真	190
第8章	STC单片机C语言编程入门	191
8.1	高级编程语言概念	191
8.1.1	构建计算模型	191
8.1.2	形式化描述	192
8.1.3	算法的流程图描述	192
8.1.4	转换成计算机可以识别的形式	193
8.1.5	代码、程序和编程的关系	193
8.2	选择C语言的理由	194

8.3	C 语言发展历史	196
8.4	C 语言程序框架	197
8.5	C 语言词法构成	198
第 9 章	STC 单片机 C 语言变量和数据类型	200
9.1	C 语言中的常量和变量	200
9.1.1	常量	200
9.1.2	变量	202
9.2	C51 编译器支持的数据类型	203
9.2.1	标准 C 语言所支持的类型	204
9.2.2	volatile 类型修饰符	213
9.2.3	单片机扩充的类型	215
9.3	自定义数据类型	219
9.4	变量存储种类和存储类型	220
9.4.1	变量存储种类	220
9.4.2	变量存储器类型	222
9.5	定位变量的绝对位置	223
第 10 章	STC 单片机 C 语言运算符	225
10.1	C 语言运算符分类	225
10.2	C 语言运算符优先级	225
10.3	赋值运算符	227
10.4	算术运算符	230
10.5	递增和递减运算符	234
10.6	关系运算符	235
10.7	逻辑运算符	236
10.8	位运算符	237
10.9	复合赋值运算符	239
10.10	逗号运算符	240
10.11	条件运算符	242
10.12	强制类型转换符	242
10.13	sizeof 运算符	243
第 11 章	STC 单片机 C 语言描述语句	245
11.1	输入输出语句	245
11.1.1	putchar 函数	245
11.1.2	getchar 函数	246
11.1.3	printf 函数	247
11.1.4	scanf 函数	250
11.1.5	puts 函数	253
11.1.6	gets 函数	253
11.2	表达式语句	254
11.3	条件语句	255
11.3.1	条件语句格式 1	255
11.3.2	条件语句格式 2	256

11.3.3	条件语句格式 3	257
11.4	开关语句	259
11.5	循环语句	260
11.5.1	while 语句	260
11.5.2	do-while 语句	261
11.5.3	for 语句	262
11.5.4	goto 语句	265
11.5.5	break 语句	266
11.5.6	continue 语句	266
11.6	返回语句	267
11.7	C 语言端口控制实现	267
第 12 章	STC 单片机 C 语言数组	270
12.1	一维数组的定义和操作	270
12.1.1	一维数组的定义	270
12.1.2	一维数组初始化	271
12.1.3	一维数组的操作	276
12.2	多维数组的定义和操作	279
12.2.1	多维数组的定义	279
12.2.2	多维数组初始化	280
12.2.3	多维数组的操作	284
第 13 章	STC 单片机 C 语言指针	288
13.1	C51 编译器中指针的分类	288
13.2	通用指针	288
13.2.1	未指定存储区域的通用指针	288
13.2.2	指定存储区域的通用指针	298
13.3	指定存储器类型的指针	299
13.4	指针转换	301
13.5	指针变量输入	302
13.6	指向指针的指针	304
13.7	抽象指针	307
第 14 章	STC 单片机 C 语言函数	310
14.1	函数定义和声明	310
14.1.1	标准 C 函数定义和声明	310
14.1.2	扩展 C 函数定义和声明	312
14.1.3	存储器模型	312
14.2	函数调用原理	313
14.2.1	函数调用格式	313
14.2.2	参数和堆栈	313
14.2.3	参数和寄存器	314
14.2.4	返回值	314
14.3	函数调用实现分析	315
14.4	函数变量的存储方式	320

14.5	数组类型传递参数	323
14.6	指针类型传递参数	326
14.7	指向函数的指针	328
14.8	可重入函数设计	330
14.9	中断函数设计	335
14.9.1	C语言中断函数的声明格式	335
14.9.2	外部中断电路原理	336
14.9.3	C语言中断程序的编写和测试	337
第15章	STC单片机C语言预处理指令	339
15.1	文件包含	339
15.1.1	包含用户头文件	340
15.1.2	包含系统头文件	342
15.1.3	只包含一次文件	361
15.2	宏定义及使用	361
15.2.1	简单的宏定义	361
15.2.2	复杂的宏定义	362
15.2.3	宏操作符	363
15.2.4	预定义的宏	364
15.3	条件编译	365
15.4	其他预处理命令	367
15.4.1	#line	367
15.4.2	#message	368
15.4.3	#error	368
15.4.4	#pragma	368
第16章	STC单片机C语言复杂数据结构	369
16.1	结构	369
16.1.1	结构类型的定义	369
16.1.2	结构变量的定义	369
16.1.3	结构变量内元素的引用	370
16.1.4	指向结构的指针	373
16.2	联合	374
16.3	枚举	376
16.4	链表	378
16.4.1	单链表的存储结构	378
16.4.2	建立链表	378
16.4.3	查找结点	381
16.4.4	删除结点	383
16.4.5	插入结点	385
第17章	STC单片机C语言高级编程技术	388
17.1	C程序中使用汇编语言	388
17.1.1	内嵌汇编语言	388
17.1.2	调用汇编程序	391

17.2	优化代码策略	394
17.3	C语言动态图形交互设计	395
17.3.1	动态图形交互硬件平台	395
17.3.2	STC单片机对触摸屏的控制	397
17.3.3	STC单片机对触摸屏的初始化	399
17.3.4	触摸屏基本绘图流程	402
17.3.5	绘制不同图形的具体实现方法	403
17.3.6	设计头文件说明	408
17.3.7	主处理文件 main 函数设计	409
第 18 章	STC 单片机时钟、复位和电源模式原理及实现	410
18.1	STC 单片机时钟	410
18.2	STC 单片机复位	411
18.2.1	外部 RST 引脚复位	411
18.2.2	软件复位	412
18.2.3	掉电/上电复位	413
18.2.4	MAX810 专用复位电路复位	413
18.2.5	内部低压检测复位	413
18.2.6	看门狗复位	415
18.2.7	程序地址非法复位	417
18.3	STC 单片机电源模式	417
18.3.1	低速模式	417
18.3.2	空闲模式	417
18.3.3	掉电模式	418
第 19 章	STC 单片机比较器原理及实现	422
19.1	STC 单片机比较器结构	422
19.2	STC 单片机比较器寄存器组	423
19.2.1	比较控制寄存器 1	423
19.2.2	比较控制寄存器 2	424
19.3	STC 单片机比较器应用	425
第 20 章	STC 单片机计数器和定时器原理及实现	428
20.1	计数器/定时器模块简介	428
20.2	计数器/定时器寄存器组	429
20.2.1	定时器/计数器 0/1 控制寄存器 TCON	429
20.2.2	定时器/计数器工作模式寄存器 TMOD	430
20.2.3	辅助寄存器 AUXR	432
20.2.4	T0~T2 时钟输出寄存器和外部中断允许 INT_CLKO(AUXR2)	433
20.2.5	定时器 T0 和 T1 中断允许控制寄存器 IE	435
20.2.6	定时器 T0 和 T1 中断优先级控制寄存器 IP	436
20.2.7	定时器 T4 和定时器 T3 控制寄存器 T4T3M	436
20.2.8	定时器 T2、T3 和 T4 的中断控制寄存器 IE2	438
20.3	计数器/定时器工作模式原理和实现	439
20.3.1	定时器/计数器 0 工作模式	439

20.3.2	定时器/计数器 1 工作模式	444
20.3.3	定时器/计数器 2 工作模式	445
20.3.4	定时器/计数器 3 工作模式	446
20.3.5	定时器/计数器 4 工作模式	448
第 21 章	STC 单片机异步串行收发器原理及实现	449
21.1	RS-232 标准简介	449
21.1.1	RS-232 传输特点	449
21.1.2	RS-232 数据传输格式	450
21.1.3	RS-232 电气标准	451
21.1.4	RS-232 参数设置	452
21.1.5	RS-232 连接器	453
21.2	STC 单片机串口模块简介	454
21.2.1	串口模块结构	454
21.2.2	串口引脚	454
21.3	串口 1 寄存器及工作模式	455
21.3.1	串口 1 寄存器组	455
21.3.2	串口 1 工作模式	459
21.3.3	人机交互控制的实现	461
21.3.4	按键扫描及串口显示	465
21.4	串口 2 寄存器及工作模式	472
21.4.1	串口 2 寄存器组	472
21.4.2	串口 2 工作模式	475
21.5	串口 3 寄存器及工作模式	475
21.5.1	串口 3 寄存器组	475
21.5.2	串口 3 工作模式	477
21.6	串口 4 寄存器及工作模式	478
21.6.1	串口 4 寄存器组	478
21.6.2	串口 4 工作模式	480
21.7	红外通信的原理及实现	480
21.7.1	红外收发器的电路原理	481
21.7.2	红外通信波形捕获	481
21.7.3	红外通信协议	482
21.7.4	红外检测原理	484
21.7.5	串口通信原理	486
21.7.6	设计实现	487
第 22 章	STC 单片机 ADC 原理及实现	491
22.1	ADC 原理	491
22.1.1	ADC 的参数	491
22.1.2	ADC 的类型	492
22.2	STC 单片机内 ADC 的结构原理	495
22.2.1	STC 单片机内 ADC 的结构	495
22.2.2	ADC 转换结果的计算方法	496

22.3	STC 单片机内 ADC 寄存器组	496
22.3.1	P1 口模拟功能控制寄存器	496
22.3.2	ADC 控制寄存器	497
22.3.3	时钟分频寄存器	498
22.3.4	ADC 结果高位寄存器	499
22.3.5	ADC 结果低位寄存器	499
22.3.6	中断使能寄存器	499
22.3.7	中断优先级寄存器	499
22.4	直流电压测量及串口显示	500
22.4.1	直流分压电路原理	500
22.4.2	软件设计流程	501
22.4.3	具体实现过程	502
22.5	直流电压测量及 LCD 屏显示	504
22.5.1	硬件电路设计	504
22.5.2	1602 字符 LCD 原理	504
22.5.3	软件设计流程	508
22.5.4	具体实现过程	509
22.6	交流电压测量及 LCD 屏显示	513
22.6.1	硬件电路设计	513
22.6.2	12864 图形点阵 LCD 原理	514
22.6.3	软件设计流程	521
22.6.4	ADC 外部输入信号要求	523
22.6.5	具体实现过程	524
22.7	温度测量及串口显示	530
第 23 章	STC 单片机 SPI 原理及实现	535
23.1	STC SPI 模块结构及功能	535
23.1.1	SPI 传输特点	535
23.1.2	SPI 模块功能	535
23.1.3	SPI 接口信号	536
23.1.4	SPI 接口的数据通信方式	537
23.1.5	SPI 模块内部结构	538
23.2	SPI 模块寄存器组	539
23.2.1	SPI 控制寄存器	539
23.2.2	SPI 状态寄存器	540
23.2.3	SPI 数据寄存器	540
23.2.4	中断允许寄存器 2	541
23.2.5	中断优先级寄存器	541
23.2.6	控制 SPI 引脚位置寄存器	541
23.3	SPI 模块配置及时序	542
23.3.1	SPI 配置模式	542
23.3.2	主/从模式的注意事项	543
23.3.3	通过 SS 修改模式	543
23.3.4	写冲突	544

23.3.5	数据模式时序	544
23.4	7 段数码管的驱动与显示	546
23.4.1	系统控制电路原理	546
23.4.2	7 段数码管原理	547
23.4.3	74HCT595 原理	548
23.4.4	系统软件控制流程	550
23.4.5	程序具体实现	550
第 24 章	STC 单片机 CCP/PCA/PWM 模块原理及实现	554
24.1	CCP/PCA/PWM 结构	554
24.2	CCP/PCA/PWM 寄存器组	556
24.2.1	PCA 工作模式寄存器	556
24.2.2	PCA 控制寄存器	557
24.2.3	PCA 比较捕获寄存器	557
24.2.4	PCA 的 16 位计数器	560
24.2.5	PCA 捕获/比较寄存器	560
24.2.6	PCA 模块 PWM 寄存器	561
24.2.7	PCA 模块引脚切换寄存器	563
24.3	CCP/PCA/PWM 工作模式	564
24.3.1	捕获模式	564
24.3.2	16 位软件定时器模式	565
24.3.3	高速脉冲输出模式	567
24.3.4	脉冲宽度调制模式	569
第 25 章	STC 单片机增强型 PWM 发生器原理及实现	574
25.1	增强型 PWM 发生器简介	574
25.2	增强型 PWM 发生器相关寄存器组	575
25.2.1	端口配置寄存器	575
25.2.2	PWM 配置寄存器	575
25.2.3	PWM 控制寄存器	576
25.2.4	PWM 中断标志寄存器	577
25.2.5	PWM 外部异常控制寄存器	578
25.2.6	PWM 计数器	579
25.2.7	PWM 时钟选择寄存器	580
25.2.8	PWM2 翻转计数器	580
25.2.9	PWM2 控制寄存器	581
25.2.10	PWM3 翻转计数器	582
25.2.11	PWM3 控制寄存器	582
25.2.12	PWM4 翻转计数器	583
25.2.13	PWM4 控制寄存器	584
25.2.14	PWM5 翻转计数器	585
25.2.15	PWM5 控制寄存器	585
25.2.16	PWM6 翻转计数器	586
25.2.17	PWM6 控制寄存器	587
25.2.18	PWM7 翻转计数器	588