

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

王黎明 闫晓玲 夏立 卜乐平 编著

嵌入式系统开发与应用： 基于Cortex-M3内核的 Stellaris微控制器

清华大学出版社



013067965

TP360.21-43

46

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

王黎明 闫晓玲 夏立 卜乐平 编著

嵌入式系统开发与应用： 基于Cortex-M3内核的 Stellaris微控制器



TP360.21-43

46

清华大学出版社
北京



北航 C1673985

013082982

内 容 简 介

本书的立足点是基础化、实用化、可操作性。首先介绍了嵌入式系统的概念、引导读者对嵌入式系统有一个整体的印象,从而带领读者进入嵌入式系统开发的大门。其次介绍了程序的编译、测试,提供了必要的基础、环境、工具支持的嵌入式开发的集成开发环境及驱动库。然后从 Stellaris 处理器最小硬件系统以及经典的电路设计为基础,介绍了相关外围接口的开发与应用,包括硬件类型的定义、位带操作、系统控制接口、系统节拍定时器、通用输入/输出接口、Flash 内部总线读写、通用定时器控制、看门狗操作、中断控制、脉宽调制器、电压比较器、ADC 采样、互联 IC 总线、同步串行通信、CAN 总线接口、以太网通信等,介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时多任务操作系统在处理器上的移植及应用,最后以标准化采集控制模块作为典型的应用系统,给出了其硬件电路设计和程序实现。

本书以多的篇幅介绍 Stellaris 处理器外围接口的开发方法(包括软硬件及关键技术问题),以实例为基础由浅入深地讲述 Stellaris 处理器外围接口的开发。

本书可作为大专、本科院校自动化、机电、仪器仪表、自动控制等专业以及工业控制网络等相关课程的教材或教学参考书,也可供从事工业控制网络系统设计和产品研发的工程技术人员参考。

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

嵌入式系统开发与应用:基于 Cortex-M3 内核的 Stellaris 微控制器/王黎明等编著.--北京:清华大学出版社,2013.8

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

ISBN 978-7-302-31982-5

I. ①嵌… II. ①王… III. ①微型计算机—系统开发—高等学校—教材 ②微处理器—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21 ②TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 078235 号

责任编辑:高买花 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

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 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:37 字 数:898 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版 印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:59.00 元

产品编号:048611-01

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培训“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人次。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和帮助下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整和教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多样本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

随着计算机网络技术和芯片技术的发展,控制芯片的性能大幅提高,成本不断降低,网络几乎深入到我们生活的每一个角落。单片机的开发者使出浑身解数,写出精妙玲珑的代码,把单片机点点滴滴的力量汇集起来,让它如同涌泉一般尽情地迸发,灌溉滋养着各行各业。是什么灵丹妙药赐予了他们这么神奇力量?除了好的处理器之外,还要配合好的开发环境和工具链。因此,在设计 ARM7TDMI 处理器时,ARM 的工具链工程师们和 CPU 设计师们强强联手,为了让它的内部结构更优化、更精炼、更到位而并肩奋战了很长时间,终于造就了 ARM7TDMI 的无限辉煌,并且久经岁月的洗礼依旧光芒绽放。

然而珠联璧合的最新果实是破茧而出的 ARM Cortex-M3 处理器。它处处闪耀着 ARM 体系结构激动人心的新突破。它基于最新最好的 32 位 ARMv7 架构,这个架构支持高度成功的 Thumb-2 指令集,还有很多时尚、前卫甚至崭新的特性,充满了新生代的气息。它在具备了上述优点的同时,编程模型却变得更加清新简洁了。不管你是新手还是骨灰级玩家,Cortex-M3 都将尽情展现它的各种优点,带给你喜出望外的收获。

1. 本书特点

- (1) 起点低,案例分析透彻;
- (2) 既注重基础理论,更面向应用;
- (3) 紧跟技术发展,选取典型技术开发实例;
- (4) 突破常规,勇于创新。

2. 本书的组织结构

第 1 章为基础部分。首先介绍了嵌入式系统的概念和组成,包括嵌入式平台的硬件构架、板级支持包、嵌入式系统上的应用程序;然后介绍了嵌入式系统的开发流程、ARM 处理器的分类、结构和选型,重点介绍了 Cortex-M3 内核的寄存器组、中断向量表、存储器映射、存储器保护单元;最后简述了市面上流行的嵌入式操作系统的种类以及选型规则。本章主要是让读者对嵌入式系统有一个整体的印象,从而引导读者进入嵌入式系统开发的大门。

第 2 章介绍了嵌入式系统的集成开发环境及驱动库。首先介绍了嵌入式系统开发的一般过程,包括目标平台创建、编译、连接、定址过程;接着介绍了本书主要使用的开发工具链 IAR,主要包括 IAR EWARM 的安装、驱动库的安装、EWARM 中创建新项目、编译运行程序以及将 IAR 的工程移植到 Keil 工程上的方法。本章为后面章节介绍程序的编译、测试提供了必要的基础、环境和工具支持。

第 3 章主要介绍了 Stellaris 处理器的结构、接口特性、处理器接口表以及 Stellaris 处理器最小系统设计,最后以 LM3S8962 处理器为例列举了基本电路设计,包括滤波电路、复位电路、晶振时钟、以太网接口、RS-232、RS-485、CAN 总线、电源模块、ADC 采样、LED 及按键、蜂鸣器、I²C 扩展开关量输入、I²C 扩展开关量输出、继电器输出等电路设计。硬件电路是整个嵌入系统的躯体骨架。

第 4 章主要介绍了嵌入式编程的相关概念、处理器内部及外围接口的实现方法,主要包

括硬件类型的定义位带操作、系统控制接口、系统节拍定时器、通用输入/输出接口、Flash 内部总线读写、通用定时器控制、看门狗操作、中断控制、脉宽调制器以及电压比较器的使用。其中 Cortex-M3 内核的系统节拍定时器、中断控制、位带操作与其他处理器有很大的不同,读者应认真体会分析并掌握它们。软件是嵌入式系统的灵魂,只有软件牢牢地依附于硬件躯体,才会有精气神。

第 5 章主要介绍了嵌入式技术中模拟量的采样变换,首先介绍了 Stellaris 微控制器内核集成的 ADC 的特性、功能,然后介绍了 ADC 使用过程中应注意的事项,接下来列出了 ADC 的常用库函数实现了包括 ADC 单通道触发采样、多通道采样、内部温度传感器采样、定时器触发采样、外部触发采样等几个 ADC 采样的例子,最后分析了 ADC 的软硬件过采样及实现技术。

第 6 章主要介绍了 UART 异步串口通信的相关知识,包括 UART 异步串行接口的功能、主要的应用库函数,通过实例程序列举了 UART 串口的使用及实现方法,主要包括简单收发、发送 FIFO 的工作原理、发送 FIFO 中断原理、以 FIFO 中断方式发送、以 FIFO 中断方式接收等。通过本章的学习,读者可以灵活使用 FIFO 实现异步通信。

第 7 章主要介绍了互联 IC 总线的相关设计及应用,包括 I²C 协议的基础、功能,I²C 总线的主要驱动库函数,最后分析了部分案例的实现,主要包括 I²C 主机模式驱动程序、I²C 芯片 PCF8574 的 I/O 扩展、I/O 扩展芯片 PCA9554、I²C 存储器器件 CAT25C02 的读取等应用例程。

第 8 章主要介绍了常用的同步串行通信的相关内容,首先介绍了 TI 的同步串行帧格式、Freescale SPI 帧格式、Microwire 帧格式,以及 SSI 通信的位速率和帧格式、FIFO 操作、SSI 中断,然后介绍了 SSI 通信的主要库函数,包括配置与控制、数据收发、中断控制等,最后给出了两个 SSI 通信的例程。

第 9 章主要介绍了 CAN 总线接口模块的应用,包括 CAN 总线的分层结构及通信协议、CAN 总线接口电路设计、CAN 总线收发器设计以及外设驱动函数的分析,给出了 CAN 模块的应用流程及封装函数,最后介绍了与 PC 通信的 CAN 通信工具的使用方法。

第 10 章主要介绍了物联网的基础——以太网接口通信的实现,主要针对 LwIP 进行说明,包括回调函数、应用程序状态设置函数、建立 TCP 连接函数、TCP 数据发送函数、TCP 数据接收函数、应用程序轮询的工作原理及相关函数、关闭与中止连接函数、底层 TCP 接口、UDP 接口函数。最后给出了应用程序实例,包括 UDP 服务器通信、UDP 客户端通信、Web 服务器、TCP 客户端通信等程序。

第 11 章主要介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS- II}$ 实时多任务操作系统在处理器上的移植及应用,首先介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS- II}$ 模板的结构及使用应注意的问题,然后给出了应用模板的例程分析,介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS- II}$ 操作系统任务之间通信的方式,如信号量、邮箱、消息队列等。

第 12 章是应用案例分析,包括人机接口、高精度 ADC 采样、多种传感器接入、PWM 控制电机、标准化采集模块等。

3. 相关致歉

本书花费了部分篇幅讲述了一些案例程序代码。讲述代码是一个很令人头痛的问题,要想把程序的来龙去脉讲清楚,就不得不贴上一些源码。本书很多地方仅仅列出了一些关键的代码,帮助读者分析,次要的部分用省略号略过。同时书中的全部代码都可以在配套资

料中找到。

书中经常会略过很多基础知识和原理的讲解,因此请读者参考相关的文档。因为嵌入式技术涉及的范围较广,读者的确需要相当多的参考资料,而不能仅仅指望一本书。本书的目的在于结合作者实际工作中的一些经验,教给读者一个思考和解决问题的办法,让读者能够举一反三。

在科技术语方面,书中尽量采用中英文结合的方式。多数缩写和英文都在附录中给出了对应的中文。书中尽量采用中文术语进行描述,但是对于有些实在找不到准确中文表述的术语,则直接使用英文。

4. 读者对象

本书是一本介绍 Cortex-M3 内核 Stellaris 处理器开发与应用的书籍,目标读者包括一线程序员、嵌入式产品设计师、片上系统(SoC)工程师、嵌入式系统发烧友、学院研究员。本书还适合下列人员阅读。

- 想学习或刚刚接触 Cortex-M3 内核 Stellaris 处理器的开发人员。
- 想学习嵌入式技术的开发人员。
- 对嵌入式技术开发感兴趣的人员。
- 使用 Cortex-M3 进行快速开发产品的开发人员。

尽管本书面向 Cortex-M3 内核 Stellaris 处理器的初级开发人员,但读者需要熟悉相关的硬件知识以及 C 语言,至少能读懂书中提到的代码。

5. 致谢

在本书的编写过程中,得到了很多人的支持和热心关注。在这里表示衷心的感谢。

感谢周立功单片机发展有限公司,公司为本书的完成提供了非常完美的测试环境、相应的硬件测试平台以及本书的部分内容和代码。

因为本人的水平和编写书稿时间的限制,书中难免有遗漏、错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。联系方式为 icesoar@163.com。

王黎明

2013 年 1 月于武汉

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础	1
1.1 嵌入式系统的概念	1
1.2 嵌入式系统的组成	2
1.2.1 嵌入式平台的硬件构架.....	2
1.2.2 板级支持包和嵌入式系统.....	3
1.2.3 嵌入式系统上的应用程序.....	3
1.3 嵌入式系统的开发流程和优势	4
1.4 ARM 微处理器概述	5
1.4.1 ARM——Advanced RISC Machines	5
1.4.2 ARM 微处理器的应用领域及特点	6
1.4.3 ARM 微处理器的结构	18
1.4.4 ARM 微处理器的应用选型	19
1.5 典型的嵌入式操作系统.....	21
1.5.1 常用的嵌入式操作系统	21
1.5.2 嵌入式操作系统类型的选择	24
1.5.3 嵌入式操作系统的选择标准	25
1.6 小结.....	26
1.7 思考题.....	26
第 2 章 集成开发环境及驱动库	28
2.1 嵌入式软件开发过程.....	28
2.1.1 创建过程	28
2.1.2 编译	29
2.1.3 连接	29
2.1.4 定址	30
2.1.5 调试过程	30
2.2 IAR EWARM 安装	32
2.3 安装驱动库.....	34
2.3.1 下载最新库文件	34
2.3.2 拷贝连接器命令文件	35
2.3.3 拷贝驱动库头文件	36
2.3.4 拷贝底层驱动函数库	37
2.4 EWARM 创建新项目	39

2.4.1	建立一个项目文件目录	39
2.4.2	新建工作区	39
2.4.3	生成新项目	39
2.4.4	添加/新建文件	41
2.4.5	通用选项设置	45
2.4.6	C/C++ 编译器选项设置	47
2.4.7	Assembler 选项设置	48
2.4.8	Linker 选项设置	48
2.4.9	Debugger 选项设置	50
2.5	编译和运行应用程序	53
2.5.1	编译连接处理	53
2.5.2	查看 MAP 文件	54
2.5.3	加载应用程序	55
2.5.4	应用程序的相关调试	55
2.5.5	生成 hex 文件	59
2.5.6	探究编译连接	59
2.6	将 IAR 的工程移植到 Keil 工程	62
2.7	小结	64
2.8	思考题	64
第 3 章	嵌入式微处理器及电路设计	65
3.1	Stellaris 处理器的结构概述	65
3.2	Cortex-M3 的 Stellaris 微处理器	66
3.2.1	处理器的分类	66
3.2.2	StellarisWare 软件	68
3.3	Stellaris 处理器最小系统	71
3.4	LM3S8962 接口特性	80
3.5	典型接口电路的分析与设计	89
3.5.1	主处理器电路	89
3.5.2	处理器滤波电路	90
3.5.3	复位接口电路	92
3.5.4	主处理器时钟接口	92
3.5.5	以太网接口	95
3.5.6	实时时钟及供电电路	95
3.5.7	I ² C 存储器 EEPROM 电路	95
3.5.8	I ² C 数字温度采集接口	95
3.5.9	I ² C 扩展开关量输入电路	98
3.5.10	开关量隔离输入电路	98
3.5.11	I ² C 扩展开关量输出电路	98

3.5.12	开关量隔离输出电路	98
3.5.13	继电器输出电路组 1	101
3.5.14	继电器输出电路组 2	102
3.5.15	I ² C 扩展输入/输出电路	102
3.5.16	UART 串行 RS-232 电路	102
3.5.17	UART 串行 RS-485 接口电路	104
3.5.18	红外线串口电路	106
3.5.19	电路电源模块	106
3.5.20	ADC 采样电路	108
3.5.21	LED 及按键电路	108
3.5.22	SPI 驱动数码管接口	108
3.5.23	SPI 驱动 EEPROM 接口	112
3.5.24	SPI 驱动 TFT LCD 接口	112
3.5.25	PWM 驱动电机电路	112
3.5.26	JTAG 接口电路	112
3.5.27	扩展接口	112
3.6	小结	115
3.7	思考题	115
第 4 章	接口功能单元的开发与应用	116
4.1	嵌入式编程	116
4.1.1	空的 main() 函数	116
4.1.2	实用工程模板	117
4.1.3	LED 闪烁发光	120
4.1.4	输出 hello world	121
4.1.5	UART 控制台	125
4.2	硬件类型定义	127
4.2.1	硬件类型定义简介	127
4.2.2	硬件寄存器访问	127
4.2.3	硬件寄存器访问实例	128
4.2.4	位带操作	129
4.2.5	位带操作实例	134
4.3	系统控制	135
4.3.1	电源结构与 LDO 控制	135
4.3.2	时钟控制	139
4.3.3	复位控制	145
4.3.4	外设控制	148
4.3.5	睡眠与深度睡眠	150
4.3.6	杂项功能	151

30	4.3.7	中断操作	153
101	4.3.8	时钟验证	154
501	4.4	系统节拍定时	155
501	4.4.1	系统节拍 SysTick 的功能简介	155
501	4.4.2	系统节拍 SysTick 的基本操作	156
401	4.4.3	系统节拍 SysTick 的中断控制	157
801	4.4.4	模拟 PC 按键重复特性实例	158
801	4.5	通用输入/输出	158
801	4.5.1	通用 I/O 口两种应用电路	158
801	4.5.2	GPIO 概述	159
801	4.5.3	特殊引脚及寄存器	162
811	4.5.4	GPIO 库函数	164
811	4.5.5	两只 LED 交替闪烁控制实例	169
811	4.5.6	KEY 控制 LED 实例	170
811	4.6	Flash 内部总线读写	173
811	4.6.1	Nor Flash 简介	173
811	4.6.2	Nor Flash 引脚定义	173
811	4.6.3	Nand Flash 简介	174
811	4.6.4	Nand Flash 引脚定义	174
811	4.6.5	Flash 功能概述	175
811	4.6.6	Flash 库函数	177
811	4.6.7	Flash 简单擦写实例	180
811	4.6.8	Flash 当做 EEPROM 操作实例	181
901	4.7	通用定时器	184
181	4.7.1	Timer 总体特性	184
281	4.7.2	Timer 功能概述	184
781	4.7.3	Timer 库函数	187
181	4.7.4	定时器 32 位单次触发定时实例	193
181	4.7.5	定时器 32 位周期定时实例	195
881	4.7.6	定时器 16 位单次触发定时实例	196
981	4.7.7	定时器 16 位周期定时实例	198
181	4.7.8	定时器 16 位输入边沿计数捕获实例	198
181	4.7.9	定时器 16 位输入边沿定时捕获实例	200
281	4.7.10	定时器 16 位 PWM 实例	201
981	4.7.11	定时器 PWM 应用蜂鸣器发声实例	202
811	4.7.12	定时器模块 16 位 PWM 演奏音乐实例	203
811	4.8	看门狗	205
981	4.8.1	看门狗功能简述	205
181	4.8.2	外部看门狗	206

4.8.3	WatchDog 功能概述	208
4.8.4	正确使用看门狗的方法	209
4.8.5	WatchDog 库函数	209
4.8.6	WatchDog 复位实例	211
4.8.7	WatchDog 作为普通定时器实例	213
4.9	中断控制	214
4.9.1	中断的基本概念	214
4.9.2	Cortex-M3 内核异常与 NVIC	214
4.9.3	Stellaris 中断基本编程方法	224
4.9.4	中断库函数	227
4.9.5	GPIO 中断控制实例	230
4.9.6	中断优先级控制实例	232
4.10	脉冲宽度调制	235
4.10.1	PWM 总体特性	235
4.10.2	PWM 功能概述	235
4.10.3	PWM 库函数	240
4.10.4	产生两路 PWM 信号实例	249
4.10.5	产生两路带死区的 PWM 实例	250
4.10.6	PWM 发生器中断实例	252
4.11	模拟比较器	253
4.11.1	电压比较器	253
4.11.2	COMP 功能	254
4.11.3	COMP 库函数	255
4.11.4	内部参考源输出驱动 LED 实例	259
4.11.5	外部参考源输出触发中断实例	260
4.12	小结	261
4.13	思考题	261
第 5 章	模数转换 ADC	266
5.1	ADC 总体特性	266
5.2	ADC 功能描述	268
5.3	ADC 应用注意事项	271
5.4	ADC 库函数	273
5.4.1	ADC 采样序列操作	273
5.4.2	ADC 处理器触发	277
5.4.3	ADC 过采样	277
5.4.4	ADC 中断控制	278
5.5	ADC 模块的应用	280
5.5.1	ADC 模块初始化	280

808	5.5.2	ADC 开始采样	280
808	5.6	ADC 实例分析	281
808	5.6.1	处理器触发 ADC 采样实例	281
118	5.6.2	ADC 内置的温度传感器实例	283
818	5.6.3	处理器触发多通道 ADC 采样实例	286
818	5.6.4	定时器溢出触发 ADC 采样实例	287
818	5.6.5	差分输入 ADC 采样实例	288
118	5.6.6	ADC 硬件过采样实例	290
188	5.6.7	ADC 软件过采样实例	290
788	5.7	过采样原理与实现	292
082	5.7.1	平均	293
888	5.7.2	过采样实现	294
888	5.8	小结	300
888	5.9	思考题	300
	第 6 章	通用异步收发器	302
848	6.1	UART 异步串口概述	302
808	6.2	UART 总体特性	303
888	6.3	UART 功能概述	307
888	6.4	UART 库函数	311
888	6.4.1	配置与控制	311
888	6.4.2	使能与禁止	314
888	6.4.3	数据收发	315
888	6.4.4	中断控制	318
888	6.5	UART 实例分析	319
188	6.5.1	UART 简单数据发送实例	319
808	6.5.2	发送 FIFO 工作原理及实例	320
888	6.5.3	发送 FIFO 中断原理及实例	321
888	6.5.4	以 FIFO 中断方式发送实例	323
888	6.5.5	以 FIFO 中断方式接收实例	324
888	6.5.6	红外线通信实例	326
888	6.6	小结	332
888	6.7	思考题	332
	第 7 章	互联 IC 总线	334
888	7.1	I ² C 协议基础	334
888	7.2	I ² C 功能概述	338
888	7.3	I ² C 库函数	340
888	7.4	I ² C 例程分析	345

7.4.1	I ² C 主机模式驱动程序	345
7.4.2	I ² C 芯片 PCF8574 的 I/O 扩展	348
7.4.3	I ² C 芯片 PCA9554 的 I/O 扩展	353
7.4.4	EEPROM 存储器 CAT24C02	356
7.5	小结	360
7.6	思考题	361
第 8 章	同步串行数据通信	362
8.1	SSI 总体特性	362
8.2	SSI 通信协议	363
8.2.1	TI 同步串行帧格式	363
8.2.2	Freescale SPI 帧格式	364
8.2.3	Microwire 帧格式	367
8.3	SSI 功能概述	369
8.3.1	位速率和帧格式	369
8.3.2	FIFO 操作	369
8.3.3	SSI 中断	370
8.4	SSI 库函数参考	371
8.4.1	配置与控制	371
8.4.2	数据收发	372
8.4.3	中断控制	373
8.4.4	SSI 常用的 API 函数	374
8.5	SSI 驱动实例分析	374
8.5.1	SSI 驱动静态 LED	374
8.5.2	SSI 驱动动态 LED	376
8.6	小结	379
8.7	思考题	379
第 9 章	CAN 接口应用	381
9.1	CAN 总线简介	381
9.2	CAN 的分层结构及通信协议	381
9.2.1	CAN 的分层结构	381
9.2.2	CAN 的通信协议	382
9.3	CAN 总线接口应用电路	385
9.3.1	由嵌入式处理器上扩展 CAN 总线接口	385
9.3.2	CAN 总线接口应用电路	386
9.3.3	收发器隔离电路设计	388
9.4	CAN 模块特性及驱动库函数	390
9.4.1	数据结构	392

848	9.4.2 枚举类型	393
848	9.4.3 接口函数	395
888	9.5 CAN 模块应用流程	401
888	9.6 CAN 总线常用函数及例程	403
898	9.6.1 CAN 总线常用的函数	403
108	9.6.2 收发数据	404
888	9.6.3 不同节点通信案例	405
888	9.6.4 CAN 总线数据简单发送实例	407
888	9.6.5 CAN 总线发送 ADC 采样数据实例	409
888	9.6.6 CAN 总线接收数据实例	412
898	9.7 小结	416
108	9.8 思考题	416
第 10 章 LwIP 的 API 接口及编程		418
888	10.1 Stellaris 以太网控制器	418
888	10.2 TCP/IP 网络分层结构	420
888	10.2.1 各种协议所在的层	420
888	10.2.2 以太网帧结构	422
888	10.2.3 数据进入协议栈时的封装过程	423
888	10.2.4 IP 首部数据格式	423
888	10.2.5 UDP 封装格式	424
888	10.2.6 以太网数据帧的分用过程	425
888	10.3 Stellaris 以太网的收发 FIFO	425
888	10.4 Stellaris 以太网的函数调用	426
888	10.5 以太网接口电路	428
888	10.6 LwIP 协议栈简介	430
888	10.7 RAW API 分析	430
888	10.7.1 应用程序状态设置函数	430
888	10.7.2 建立 TCP 连接函数	431
888	10.7.3 TCP 数据发送函数	433
888	10.7.4 TCP 数据接收函数	433
888	10.7.5 轮询工作原理及相关函数	434
888	10.7.6 关闭与中止连接的函数	434
888	10.7.7 底层 TCP 接口	435
888	10.7.8 UDP 接口函数	435
888	10.8 应用程序实例分析	437
888	10.8.1 UDP 服务器通信实例	437
888	10.8.2 UDP 客户端通信实例	440
888	10.8.3 Web 服务器实例	441

10.8.4	TCP 客户端通信实例	444
10.9	小结	447
10.10	思考题	447
第 11 章	μC/OS 嵌入式实时操作系统	449
11.1	实时操作系统的内核	449
11.1.1	任务管理	449
11.1.2	任务间的通信和同步	455
11.1.3	存储器管理	456
11.1.4	定时器和中断管理	457
11.2	μ C/OS-II 模板说明	457
11.2.1	移植模板的结构	457
11.2.2	模板使用的注意事项	459
11.3	μ C/OS-II 模板使用实例	463
11.3.1	操作系统任务流程	463
11.3.2	操作步骤	463
11.4	中断控制蜂鸣器	468
11.4.1	操作系统任务流程	468
11.4.2	操作步骤	468
11.5	μ C/OS-II 任务之间的通信与同步方式	471
11.5.1	信号量	471
11.5.2	邮箱	475
11.5.3	消息队列	479
11.6	小结	479
11.7	思考题	480
第 12 章	应用案例分析	481
12.1	人机交互接口	481
12.1.1	键盘接口	481
12.1.2	LED 及键盘驱动	483
12.1.3	LCD1602 交互	490
12.1.4	驱动 240 \times 320 的 TFT-LCD	497
12.2	高精度 ADC 采样	497
12.2.1	串行 ADC 接口 TLC2543	497
12.2.2	串行 ADS7818 数据采集	501
12.3	多种传感器接入实例	504
12.3.1	传感器 DS1820 测量温度	504
12.3.2	数字传感器 LM75A 测量温度	514
12.3.3	传感器 TSL230 测量光照度	520