

高等院校通用教材

# 嵌入式系统

## 设计与应用开发

郑灵翔 等编著

- 基于2.6内核的嵌入式Linux
- 基于XScale处理器

01010101010101

01010100010101

01010101010101

01010101110101



北京航空航天大学出版社

高等院校通用教材

# 嵌入式系统设计与应用开发

郑灵翔 等编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书基于 2.6 内核的嵌入式 Linux 操作系统,全面介绍嵌入式系统开发的一般过程。以 Intel 公司大学计划的 XScale 开发板为例,采用软硬件结合的方式详细介绍嵌入式系统的硬件设计和底层软件设计原理。全书分为三部分:第 1~6 章介绍嵌入式开发入门知识,包括嵌入式系统的基础知识以及相关的概念和原理,基于 Linux 的嵌入式系统开发方法和流程;第 7~14 章是全书的重点,详细介绍嵌入式系统硬件设计和软件驱动原理以及对应接口的应用软件开发方法;第 15~18 章介绍一些常见的嵌入式应用设计开发方法。

本书可作为高校电类相关专业硕士研究生或高年级本科生的嵌入式系统教材,也可作为嵌入式系统开发工程师的实用参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计与应用开发/郑灵翔等编著. —北京:  
北京航空航天大学出版社,2006.2

ISBN 7-81077-746-7

I. 嵌… II. 郑… III. ①微型计算机—系统设计  
②微型计算机—系统开发 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 000478 号

©2006,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。侵权必究。

## 嵌入式系统设计与应用开发

郑灵翔 等编著

责任编辑 王鑫光 王 鸿

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×960 1/16 印张:29.75 字数:666 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-746-7 定价:36.00 元

# 序

Intel 是全球最大的半导体芯片制造商,也是计算机、网络和通信产品领先的制造商。它成立于 1968 年,具有 37 年的技术产品创新和市场领导的历史。1971 年,Intel 推出了全球第一枚微处理器。这一举措不仅改变了公司的未来,而且对整个工业产生了深远的影响。微处理器所带来的计算机和互联网革命,改变了整个世界。

今天,数字经济正引导信息产业朝着计算与通信以及 3C 融合的方向迅速发展,Intel 作为全球的信息技术领袖,凭借强大的研发与制造能力,在计算与通信融合领域,一直引领业界的发展潮流。2005 年,Intel 全面实施平台化策略。随着多核处理器的面世,Intel 的数字企业平台、数字家庭平台、移动平台、渠道产品平台和数字医疗平台获得了强大动力,也让众多平台技术创新有了用武之地。

自 1985 年进入中国以来,成为全球数字经济杰出的建筑模块及平台技术的供应商是 Intel 努力的方向,并和全球业务发展战略保持一致。在过去的 20 年里,Intel 始终作为投资者、教育者和忠诚的伙伴,见证并推动了中国 IT 业和通信产业的飞速发展。

Intel 意识到教育是帮助我们迎接未来变化的重要因素。作为发展教育的长期倡导者和支持者,Intel 致力于帮助中国培养杰出的未来型人才,通过将先进的科学技术融入到教育的方方面面,使教师和学生都能及时接触和掌握最新科技。

嵌入式技术的发展,是当今新型技术时代的一个重大标志,嵌入式系统已成为全球电子市场的一个关键支撑,嵌入式系统产品的应用已超过整个计算机应用的 40%。作为处理器技术的全球领导者,Intel 非常重视嵌入式处理器的研发,并且很注重与高校在嵌入式技术领域的合作。2002 年,Intel 在国内高校设立基于 Intel XScale® 技术嵌入式课程计划全面启动。Intel 与 40 多所重点大学建立了合作关系,合作方式包括:向大学捐赠设备、资助科研项目、支持课程开发、举办学生竞赛、设立奖学金和研究基金以及举办由 Intel 高级技术专家主持的研究论坛和技术讲座等。

Intel 致力于将嵌入式最新技术与教学理念引入大学课程与教学,提升大学教

育及科研水平,寻求科技创新,支持高校培养适应时代发展需要的嵌入式系统人才。郑灵翔老师这本《嵌入式系统设计与应用开发》的出版,凝聚了厦门大学嵌入式系统教学的结晶,提炼了嵌入式系统开发的精髓,是一本非常优秀的 Intel XScale®技术嵌入式教材,相信将为广大高校师生和嵌入式开发工作者提供明确的指引方向。在此,我谨对本书的编撰者厦门大学郑灵翔老师和 Intel 第三方合作伙伴亿道电子、Intel 大学合作经理王宇琪小姐表示衷心的感谢。

面向未来,Intel 承诺将一如既往地支持和帮助中国提升嵌入式领域的专业水平,推动科技创新,培养优秀的本土人才,创造丰富的知识产权财富,协助中国在全球赢得更多发展机遇,在中国未来的发展中继续成为长久的忠诚的战略合作伙伴。



Wonder Wu  
Intel 公司

# 前 言

当前,嵌入式技术发展迅猛,已深入到各个领域,得到了广泛的应用。嵌入式系统是多学科领域知识的综合应用,集计算机、电子、通信和自动控制等多种技术于一体,嵌入到各个行业的具体应用中。嵌入式系统具有软硬件紧密结合的特点,这使其设计与计算机领域单纯的软件设计及电子工程领域单纯的硬件设计都不同,它是计算机与电子工程设计两者的结合,是软硬件的综合设计。目前国内能进行软硬件综合设计的人才还很缺乏,学习也较为困难。本书希望在这点上做些尝试,采用软硬件结合的方式介绍嵌入式系统设计,以帮助有志于从事嵌入式系统设计的学生和工程技术人员,提高嵌入式系统的软硬件综合设计能力。

本书基于作者在厦门大学为研究生和工程硕士开设的“嵌入式系统”课程讲稿。在本课程的教学过程中,作者发现学生在嵌入式系统课程学习过程中常有理论与实践脱节的问题。因此,作者在教学中大胆进行改革,在讲授课程时注意让学生理论联系实际,不仅要求学生掌握基本原理,更要学会如何应用;在实验中,不仅要求学生完成基本原理的实验,更注重从事创新性实验的实践。例如,曾将没有任何现成实验材料可参考的 Linux 2.6 内核的移植作为实验的主要内容,带领学生一起分析开发板的硬件设计原理,并在此基础上完成 Linux 2.6.10 内核的移植以及驱动程序和 Bootloader 的开发移植等工作,使学生深刻理解嵌入式系统软硬件综合设计的精髓。为了与广大同行分享我们的工作成果和经验,作者对该课程的教学内容进行总结扩充,并结合自己在嵌入式系统研究方面取得的一部分科研成果和经验,编写了本书。

在嵌入式系统的教学中,一个很关键的问题是,应采用什么样的硬件平台,使用哪种嵌入操作系统进行教学。对这个问题一直存在着很大的争论。2004年,厦门大学加入了 Intel 的大学计划,并组队参加了全国大学生电子设计竞赛——2004年 Intel 嵌入式系统专题竞赛。作者选用 Intel 公司 PXA 系列处理器和亿道电子有限公司的 XSBase255 开发平台作为课程教学的硬件平台,取得了非常好的教学效果。Intel 公司的 PXA 系列处理器代表了嵌入式技术的一个发展方向,其强大的媒体处理能力和丰富的外部接口能满足大部分嵌入式的需求。但需提醒读者注意的是,Intel 的 PXA 系列处理器虽是一款优秀的嵌入式处理器,但是它并不能覆盖整个嵌入式市场。在一个具体的嵌入式项目中,处理器也须根据项目的具体需求进行选择,从众多的处理器中选用一个最合适的处理器。为此,本书不限制读者在学习过程中使用的硬件平台。在编写过程中,也尽可能以通用的原理说明为主,以避免特定硬件处理器可能带来的影响。建议读者在学习和应用过程中,应结合自己实际使用的硬件平台使用本书。本书还采用了一款优秀的硬件平台仿真软件 SkyEye 代替具体的硬件平台,这为许多不具备硬件

平台的读者提供了一个很好实验环境,可以通过 SkeyEye 迅速步入嵌入式的殿堂。

本书使用 Linux 作为嵌入式操作系统进行介绍,主要是因为 Linux 在嵌入式系统中的应用已经非常普遍。它能给嵌入式开发人员提供最大的自由度,使其能完全掌控自己的设计。Linux 因其开源、免费等诸多优点,在嵌入式操作系统市场上扮演着越来越重要的角色,成为主流的嵌入式技术之一。与老版本的内核相比,2.6 版 Linux 内核引入了许多面向嵌入式系统的新特性,包括:

- 采用抢占式内核,引入新的  $O(1)$  调度算法,以增强系统的实时性能,使系统响应速度大大提高;
- 修改了 I/O 子系统部分,以保证在各种工作负荷下 I/O 都有很好的响应速度;
- 引入了统一的设备框架,系统各个组件被清晰地分开,从而可以独立更改或替换,使系统具有更好的可移植性;
- 增加了对没有 MMU 存储管理的微处理器支持,将  $\mu$ clinux 的支持整合到标准内核中。综合考虑 Linux 开放源代码的特点和它在嵌入式操作系统市场上的地位以及 Linux 2.6 内核优异的性能,本书以 2.6 版的 Linux 内核为基础,介绍嵌入式软件系统的设计开发。

随着嵌入式技术的发展,嵌入式系统的复杂度大为增加,设计方法发生了重大的变化。现代的嵌入式设计硬件多采用 32 位 SoC 设计,软件方面引入嵌入式操作系统。整个系统的设计已从原来单片机时代的电子工程领域设计转变为电子工程与计算机工程领域协同的软硬件紧密结合的综合设计。一个具体的嵌入式项目不仅须完成嵌入式硬件系统的设计,也须完成嵌入式应用软件的设计,甚至须完成嵌入式操作系统等底层软件的移植工作。因此,要掌握嵌入式系统,就必须同时具备硬件与软件两方面的综合知识与技能。对于这些软件硬件知识与技能的综合运用,在传统的教学或技能培训中较少涉及。本书希望在这点上做些尝试,采用软硬件结合的方式介绍嵌入式系统硬件设计以及对应的底层软件和上层应用软件开发。力求做到结合最新的软硬件技术,在系统的硬件设计、底层软件开发和上层应用开发的介绍之间取得较好的平衡,以满足不同层次读者的需要。

本书的内容大体上可分为三部分。第 1~6 章是嵌入式系统开发入门知识的介绍。其主要内容是嵌入式系统的基本知识以及相关的概念和原理。其中,第 6 章介绍了嵌入式 Linux 开发的全过程,主要包括嵌入 Linux 内核的开发、嵌入式 Linux 根文件系统的开发、在开发板上运行嵌入式 Linux 的方法、基于嵌入式硬件仿真环境 SkyEye 的嵌入式 Linux 开发以及嵌入式 Linux 应用程序的开发调试等。

第 7~14 章是全书的重点,详细介绍了嵌入式系统软硬件综合设计的方法。除第 7 章外,其他各章都可以分为三部分:第一部分是硬件设计原理,第二部分是与这些硬件原理紧密相关的底层软件设计原理和方法,第三部分详细描述进行硬件接口操作的应用层软件开发方法。第 7 章介绍了 Linux 2.6 内核驱动开发的基本原理、Linux 2.6 内核中新的设备模型、Linux

2.6 内核的中断处理和工作推后执行机制。第 8 章介绍了核心处理器与存储系统构成的最小系统设计以及 Bootloader 和 Linux 内核的移植开发。第 9 章介绍了键盘接口电路设计和简单的字符设备驱动设计,涉及 Linux 驱动中常用的一些技术,例如使用内核定时器的外设轮询操作、阻塞型 I/O 的实现、异步 I/O 操作的实现以及异步消息通知的实现等。第 10 章介绍了 RTC 实时时钟与处理器串行通信的接口设计及其驱动设计。第 11 章介绍了触摸屏与处理器的接口设计,采用 Microwire 协议进行数据传输的方法,以及基于 Linux 输入设备子系统的触摸屏的驱动设计。在驱动设计中,还介绍了中断的使用以及中断服务程序与可推后执行工作的处理。第 12 章介绍了网络接口设计及其驱动。第 13 章介绍了 PCMCIA/CF 接口的设计及其驱动开发。第 14 章介绍了 AC97 音频接口电路设计及其驱动开发。

第 15~18 章主要讲述了与嵌入式应用开发相关的一些内容。第 15 章介绍了嵌入式图形用户界面的设计。第 16 章介绍了嵌入式 Linux 网络应用开发的方法。第 17 章介绍了使用 Intel 的 IPP/GPP 库和 Vtune 工具进行嵌入式软件优化的方法。第 18 章以几个实例介绍了基于 PXA 系列处理器的嵌入式系统综合设计方法。

本书内容丰富,在实际教学或学习过程中,可以根据需要选择有关章节讲解或学习。对于学过操作系统的读者,可以跳过第 3 章的内容。对于 Linux 较熟悉的读者,可以跳过 4、5 两章的内容,对于采用低端没有 MMU 处理器平台的读者可以用附录的内容代替第 6 章的部分内容。对于第 9~18 章的内容,则可以根据学时数以及教学和学习的实际情况选用。

本书由郑灵翔组织编写,并负责全书内容的修改和最终定稿。深圳市亿道电子有限公司技术部资深技术工程师张天飞先生,厦门大学的硕士生张晨然、黄宁成、曾楠、卢敏和林增昌等同学参加了有关章节的编写。此外,亿道电子有限公司技术部资深技术工程师何章龙先生和洗铭威先生以及厦门大学的洪景新老师和朱孝明同学也为本书的编写提供了许多帮助。

本书在编写过程中得到了各方面无私的帮助,在此深表感谢!

厦门大学的陈辉煌老师一直都支持本书的编写工作。本书的出版正是在他的大力支持与鼓励下完成的。

感谢厦门大学智能图像与信息处理实验室的同事洪景新、石江宏、周剑扬、汤碧玉、施海彬、卢贵主等老师。无论是平时的工作,还是本书的编写,他们都给了我很多的帮助。

感谢厦门大学电子工程系和通信工程系的程恩老师、肖明波老师、黄联芬老师和施芝元老师,在课程建设和本书的出版上都得到了他们热情的关心与支持。

厦门大学电子工程系和通信工程系许多研究生不仅选修了我的课,而且他们不懈努力的工作成果已成为本书内容重要的一部分,在此深表感谢。

感谢 Intel 公司的第三方合作伙伴深圳市亿道电子有限公司提供的支持和帮助。尤其是亿道公司的钟景维先生、张治宇先生、石庆先生、石汀小姐为本书的编写和出版提供了许多帮助,特此感谢。



感谢 Intel 公司的 Wonder Wu 先生为本书作序。

感谢 Intel 公司大学合作部的王宇琪小姐和朱文利小姐,本书的编写得到了她们热情的关心和帮助。

感谢北京航空航天大学出版社的马广云老师,正是她的支持使本书能够顺利出版。北京航空航天大学出版社胡晓柏先生及其他相关工作人员为本书的出版做了许多工作,特此感谢。

本书受厦门大学科技创新基金的支持(项目号:XDKJCX20051015)。

由于作者水平有限,许多问题还在摸索之中,书中错误和不确切之处,敬请读者批评指正。

作 者

2006 年 1 月于厦门大学

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b> .....	1
1.1 嵌入式系统的概念 .....	1
1.2 嵌入式系统的分类 .....	1
1.3 嵌入式系统的组成 .....	2
1.4 嵌入式系统的设计流程 .....	3
1.5 嵌入式技术的发展趋势 .....	5
习题与思考题.....	7
<b>第 2 章 ARM 与 XScale 体系结构简介</b> .....	8
2.1 ARM 处理器介绍 .....	8
2.1.1 RISC 体系结构 .....	8
2.1.2 ARM 系列处理器 .....	9
2.2 ARM 体系结构的一些重要概念 .....	11
2.2.1 处理器工作状态.....	11
2.2.2 处理器模式.....	11
2.2.3 ARM 寄存器 .....	12
2.2.4 异 常.....	15
2.3 XScale 体系结构 .....	16
2.3.1 XScale 超级流水线 .....	17
2.3.2 协处理器.....	18
2.3.3 无线 MMX 指令单元 .....	19
2.3.4 内存管理.....	19
2.3.5 指令快存.....	20
2.3.6 数据快存.....	20
2.3.7 转移目标缓冲器 BTB .....	21
2.3.8 写缓冲器.....	21
2.3.9 性能监视.....	21
2.3.10 电源管理 .....	21
2.3.11 调 试 .....	21

2.4 PXA 系列处理器 .....	22
2.4.1 PXA255 处理器 .....	22
2.4.2 PXA27x 处理器 .....	24
2.5 XScale 开发平台 .....	26
2.5.1 XSBase255 开发平台 .....	26
2.5.2 XSBase270 开发平台 .....	29
本章小结 .....	31
习题与思考题 .....	31
<b>第3章 操作系统基础</b> .....	<b>32</b>
3.1 操作系统的概念 .....	32
3.2 操作系统的发展过程 .....	32
3.3 嵌入式操作系统 .....	34
3.3.1 嵌入式操作系统的演化及其发展趋势 .....	35
3.3.2 常见的嵌入式操作系统 .....	36
3.3.3 嵌入式操作系统的选择 .....	39
3.4 操作系统的功能 .....	41
3.4.1 进程管理 .....	41
3.4.2 存储器管理 .....	44
3.4.3 设备管理 .....	48
3.4.4 文件管理 .....	48
本章小结 .....	49
习题与思考题 .....	49
<b>第4章 Linux 概述</b> .....	<b>50</b>
4.1 Linux 的历史 .....	50
4.2 Linux 常见发行版简介 .....	51
4.3 Linux 操作系统的构成 .....	51
4.3.1 总体结构 .....	51
4.3.2 Linux 内核 .....	52
4.3.3 根文件系统目录树结构 .....	53
4.3.4 Shell 简介 .....	55
4.3.5 Linux 文件 .....	55
4.4 Linux 的基本操作 .....	56
4.4.1 Linux 命令的使用 .....	56

---

4.4.2	vi 编辑器的使用 .....	74
4.4.3	Linux 配置与管理的相关命令 .....	75
4.5	嵌入式 Linux 简介 .....	78
4.5.1	自制嵌入式 Linux .....	78
4.5.2	商业版嵌入式 Linux .....	79
4.5.3	NMT RT - Linux .....	79
4.5.4	RTAI .....	80
4.5.5	$\mu$ Clinux .....	81
	本章小结 .....	82
	习题与思考题 .....	82
<b>第 5 章</b>	<b>Linux 程序开发简介 .....</b>	<b>83</b>
5.1	GNU Compiler Collection 简介 .....	83
5.1.1	用 GCC 编译简单程序 .....	84
5.1.2	GCC 使用简介 .....	84
5.2	GNU make 与 Makefile 编写 .....	87
5.2.1	Makefile 的编写 .....	88
5.2.2	Makefile 的处理过程 .....	89
5.2.3	Makefile 的变量 .....	89
5.2.4	Phony 目标 .....	91
5.2.5	利用隐含规则简化 Makefile .....	92
5.2.6	make 的命令行参数 .....	93
5.2.7	Makefile 示例 .....	93
5.3	Autoconf 和 Automake 简介 .....	94
5.3.1	使用前的准备 .....	95
5.3.2	自动生成 Makefile 的方法 .....	95
5.3.3	Makefile.am 的编写 .....	97
5.3.4	自动处理复杂软件包 .....	98
5.4	GDB/Insight 调试器的使用 .....	100
5.4.1	GDB 调试工具简介 .....	100
5.4.2	GDB 图形前端 Insight 简介 .....	111
5.5	Linux 下集成开发工具的使用 .....	118
	本章小结 .....	122
	习题与思考题 .....	122

<b>第 6 章 嵌入式 Linux 开发入门</b> .....	123
6.1 嵌入式系统的开发模式 .....	123
6.2 嵌入式 Linux 系统的开发流程 .....	124
6.3 嵌入式 Linux 的构造 .....	125
6.3.1 开发环境的安装 .....	125
6.3.2 内核裁剪与编译 .....	126
6.3.3 Busybox 与根文件系统的构造 .....	131
6.4 在开发板上运行嵌入式 Linux .....	137
6.4.1 Bootloader 简介 .....	137
6.4.2 U-boot 烧写与使用 .....	138
6.4.3 用 U-boot 启动嵌入式 Linux .....	143
6.5 嵌入式硬件仿真环境 SkyEye .....	150
6.5.1 SkyEye 安装 .....	151
6.5.2 在 SkyEye 中运行嵌入式 Linux .....	152
6.5.3 在图形化的 SkyEye-Insight 下调试 Linux 内核 .....	156
6.6 嵌入式应用程序开发调试 .....	158
6.6.1 将应用程序加入嵌入式 Linux 系统 .....	158
6.6.2 应用程序的移植 .....	159
6.6.3 通过 NFS 调试嵌入式应用程序 .....	161
6.6.4 通过 Cross-gdb 调试应用程序 .....	163
本章小结 .....	166
习题与思考题 .....	166
<b>第 7 章 Linux 2.6 内核驱动原理</b> .....	168
7.1 基本原理 .....	168
7.1.1 设备分类 .....	168
7.1.2 设备号 .....	169
7.2 内核模块 .....	169
7.2.1 内核模块的概念 .....	169
7.2.2 内核模块的框架 .....	170
7.2.3 2.6 系列内核模块的编译和加载 .....	170
7.3 设备驱动程序的结构 .....	174
7.3.1 虚拟文件系统与硬件驱动的接口 .....	174
7.3.2 简单字符设备的驱动 .....	176

---

7.4 Linux2.6 内核设备模型 .....	178
7.4.1 Linux2.6 设备模型概述 .....	178
7.4.2 移植到新的驱动模式 .....	180
7.5 Linux 2.6 内核的中断处理 .....	182
7.5.1 中断处理程序的注册与释放 .....	183
7.5.2 中断处理程序的编写 .....	184
7.6 Linux 2.6 内核的工作推后执行的机制 .....	184
7.6.1 软中断 .....	185
7.6.2 Tasklet .....	185
7.6.3 工作队列 .....	187
本章小结 .....	190
习题与思考题 .....	190
<b>第 8 章 处理器核心电路设计和底层软件移植 .....</b>	<b>191</b>
8.1 最小硬件系统设计 .....	191
8.1.1 系统存储器接口 .....	191
8.1.2 串口电路原理 .....	194
8.2 最小硬件系统的配置 .....	195
8.2.1 处理器的配置 .....	195
8.2.2 Flash & SDRAM 的配置 .....	196
8.2.3 GPIO 和串口的配置 .....	199
8.3 最小硬件系统与 Bootloader .....	201
8.3.1 U-boot 启动阶段 1 的处理过程 .....	202
8.3.2 U-boot 启动阶段 2 的处理过程 .....	207
8.3.3 U-boot 移植原理 .....	208
8.3.4 基于 U-boot 的硬件调试 .....	214
8.4 最小硬件系统与 Linux 2.6 内核移植 .....	216
8.4.1 建立开发板平台描述文件 .....	217
8.4.2 编写硬件 include 文件 .....	219
8.4.3 修改内核配置文件 .....	219
本章小结 .....	219
习题与思考题 .....	220
<b>第 9 章 Keypad 接口设计与驱动开发 .....</b>	<b>221</b>
9.1 Keypad 硬件原理 .....	221

9.1.1 Keypad 接口设计	221
9.1.2 Keypad 电路原理	222
9.2 Keypad 软件驱动原理	224
9.2.1 内核模块的注册和撤销	224
9.2.2 虚拟文件系统与硬件驱动的接口	225
9.2.3 设备打开操作接口函数	225
9.2.4 设备读取操作接口函数	226
9.2.5 设备关闭操作接口函数	227
9.2.6 获取键值子函数	227
9.2.7 读缓冲区子函数	229
9.2.8 内核定时器的使用	229
9.2.9 利用等待队列实现阻塞型 I/O	230
9.2.10 poll 系统调用操作接口函数	231
9.2.11 在设备驱动中实现异步通知	233
9.3 键盘信息读取应用实例	234
本章小结	236
习题与思考题	236
<b>第 10 章 RTC 接口电路设计与驱动开发</b>	<b>237</b>
10.1 RTC 电路设计	237
10.1.1 处理器与 RTC-4513 接口设计	237
10.1.2 RTC-4513 电路原理	238
10.1.3 RTC-4513 操作参数	240
10.1.4 RTC-4513 的串行操作流程	243
10.2 RTC 软件驱动原理	246
10.2.1 内核模块的注册和撤销	247
10.2.2 虚拟文件系统与硬件驱动的接口	247
10.2.3 设备打开操作接口函数	248
10.2.4 使用 ioctl() 方法	248
10.2.5 设备关闭操作接口函数	252
10.2.6 读时钟寄存器子函数	252
10.2.7 写时钟寄存器子函数	253
10.3 RTC 操作应用实例	253
本章小结	256

---

习题与思考题	256
<b>第 11 章 触摸屏电路设计与驱动开发</b>	<b>257</b>
11.1 触摸屏的工作原理	257
11.2 ADS7843 触摸屏控制器简介	258
11.3 处理器与 ADS7843 的接口设计	260
11.3.1 电路接口设计	260
11.3.2 Microwire 数据帧结构	261
11.4 触摸屏软件驱动原理	263
11.4.1 Linux 内核输入设备子系统驱动架构	263
11.4.2 硬件操控原理	263
11.4.3 输入设备驱动接口的使用	266
11.4.4 中断处理	268
11.5 基于触摸屏驱动的应用实例	270
本章小结	272
习题与思考题	272
<b>第 12 章 以太网电路设计与驱动开发</b>	<b>273</b>
12.1 CS8900A 以太网芯片简介	273
12.1.1 功能介绍	273
12.1.2 引脚定义	273
12.2 处理器与以太网芯片接口设计	274
12.3 CS8900A 片内寄存器介绍	275
12.3.1 总线接口寄存器组	275
12.3.2 状态与控制寄存器组	276
12.3.3 发送初始化寄存器组	285
12.3.4 地址过滤寄存器组	286
12.4 CS8900A 的操作方法	286
12.4.1 CS8900A 的初始化	286
12.4.2 CS8900A 的 I/O 模式寄存器	287
12.4.3 CS8900A 片内寄存器的读/写	287
12.5 Linux 网络设备软件驱动原理	288
12.5.1 Linux 网络设备驱动框架	288
12.5.2 Linux 网络设备接口	289
12.5.3 网络驱动程序的实现	294



本章小结.....	303
习题与思考题.....	303
<b>第 13 章 PCMCIA 外围电路设计与驱动开发 .....</b>	<b>304</b>
13.1 PXA2XX 处理器的 PCMCIA 接口 .....	304
13.1.1 PCMCIA 和 CF 接口简介.....	304
13.1.2 PXA2XX 处理器的 PCMCIA 存储器映射 .....	305
13.1.3 PCMCIA 外部接口设计 .....	305
13.2 外围电路驱动原理.....	307
13.2.1 双向收发器 74LCX245 的使用.....	307
13.2.2 CF 卡插入检测 .....	308
13.2.3 “卡读(写)使能”信号.....	310
13.2.4 PCMCIA 接口的 Socket Select .....	311
13.2.5 PCMCIA 接口的电源管理 .....	311
13.3 GPIO 连接原理 .....	313
13.3.1 存储控制单元的 GPIO 连接原理.....	313
13.3.2 与中断相关的 GPIO 连接原理.....	314
13.4 PCMCIA 软件驱动原理 .....	315
13.4.1 PCMCIA 设备驱动体系结构 .....	315
13.4.2 PCMCIA 工作流程 .....	316
13.4.3 插口驱动设计.....	316
13.5 PCMCIA Card Services 软件包 .....	319
13.5.1 软件包的安装.....	319
13.5.2 Ture IDE 模式的 CF 卡驱动 .....	320
13.5.3 CF 存储卡的使用 .....	321
本章小结.....	323
习题与思考题.....	323
<b>第 14 章 AC97 音频处理电路设计与驱动开发 .....</b>	<b>324</b>
14.1 PXA255 AC97 硬件工作原理 .....	324
14.1.1 PXA255 AC97 音频处理电路设计 .....	324
14.1.2 PXA255 AC97 控制单元 .....	324
14.1.3 CS4299 音频编解码器 .....	331
14.2 AC97 软件驱动原理 .....	335
14.2.1 音频设备的注册及初始化.....	335