



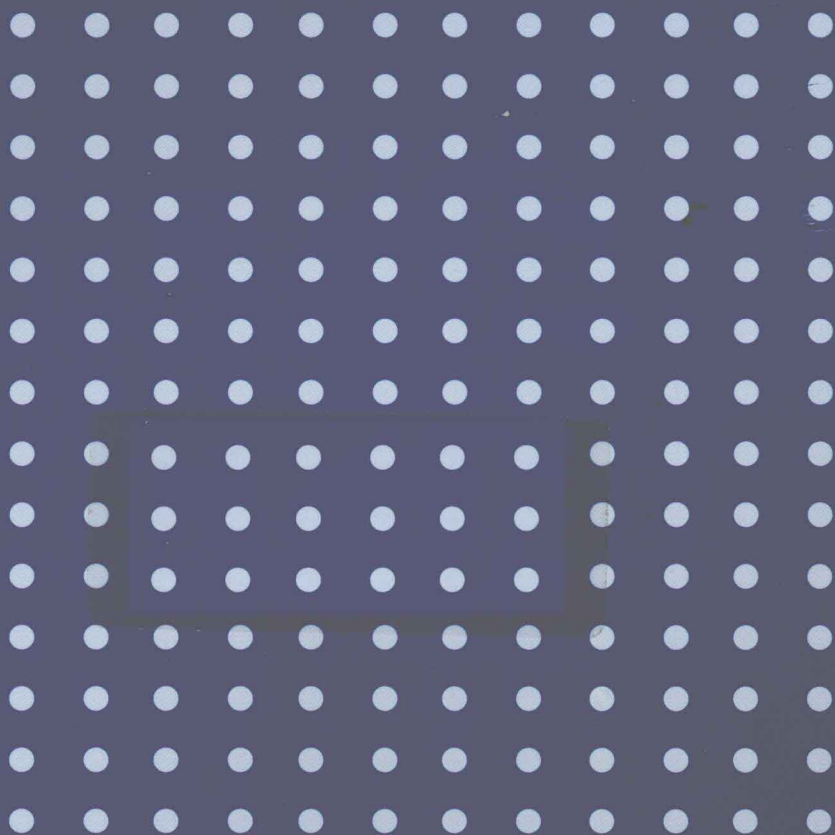
国家级精品课教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

重点大学计算机专业系列教材

嵌入式系统原理与设计

陈文智 王总辉 主编



清华大学出版社



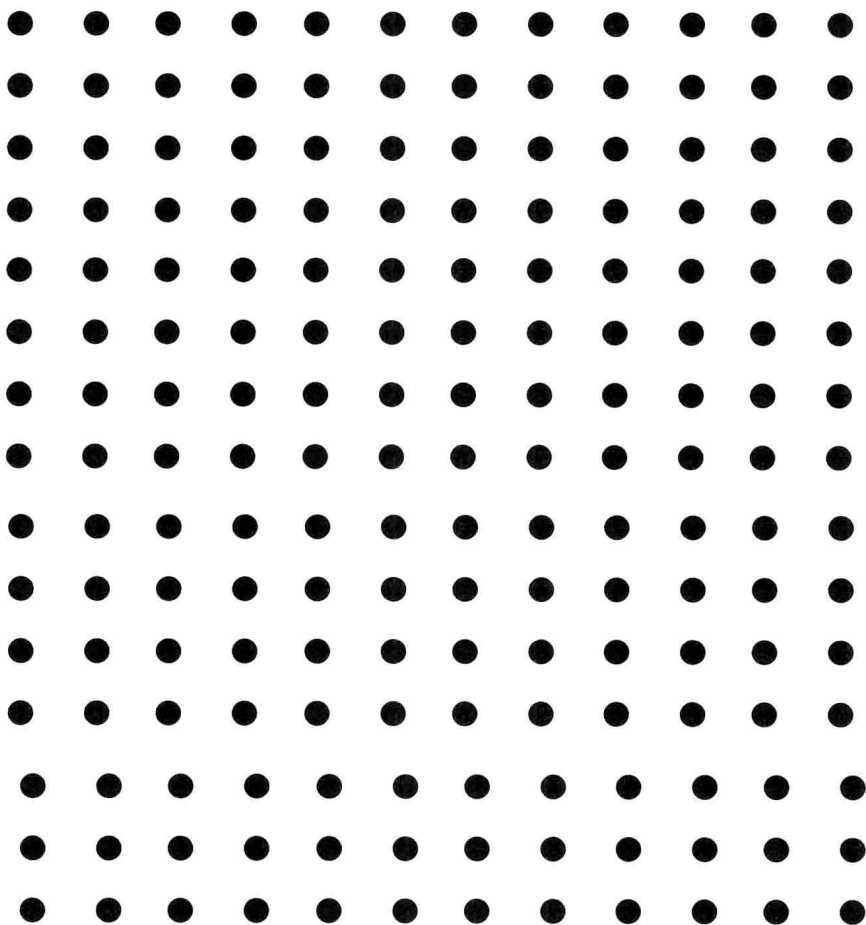
国家级精品课教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

重点大学计算机专业系列教材

嵌入式系统原理与设计

陈文智 王总辉 主编



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书分为上下两篇,上篇原理部分共14章,下篇实验部分共10章。其中原理部分:第1章介绍嵌入式系统的应用领域和发展方向。第2章介绍 ARM9 处理器的架构及其内存管理。第3章介绍 ARM9 体系结构的指令集与汇编代码的编写。第4章介绍嵌入式 Linux 操作系统的基本知识。第5章介绍常见的 Boot Loader。第6章介绍基于 ARM 体系结构的 Linux 内核。第7章介绍嵌入式文件系统的框架。第8章介绍嵌入式设备驱动程序结构。第9章介绍交叉开发环境模式和常用的调试技术。第10章介绍字符设备驱动程序的框架。第11章介绍块设备驱动程序的架构。第12章介绍网络设备驱动架构。第13章介绍嵌入式 MiniGUI 及其应用。第14章介绍 Android 嵌入式系统相关的技术与应用开发。实验部分:第1章介绍本书实验部分采用的开发板。第2章介绍搭建宿主机和目标机实验环境。第3章介绍内核及内核模块的制作方法。第4章介绍根文件系统的制作过程。第5章介绍调试的方法。第6章介绍了简单的字符设备驱动程序的编写方法。第7章介绍了块设备驱动程序开发的特点和流程。第8章介绍了网卡驱动程序的开发流程。第9章介绍了 MiniGUI 的使用方法。第10章介绍了 Android 平台上应用程序的开发方法和流程。

本书既可以作为各类院校嵌入式方向的本科生和研究生的嵌入式系统教材,也可以作为嵌入式系统开发工程师的参考书。

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

嵌入式系统原理与设计/陈文智,王总辉主编. —北京:清华大学出版社,2011.5

(重点大学计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-23859-1

I. ①嵌… II. ①陈… ②王… III. ①微型计算机—系统设计 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 180932 号

责任编辑:魏江江

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:32.25 字 数:779 千字

版 次:2011 年 5 月第 1 版 印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:49.00 元

出版说明

随着国家信息化步伐的加快和高等教育规模的扩大,社会对计算机专业人才的需求不仅体现在数量的增加上,而且体现在质量要求的提高上,培养具有研究和实践能力的高层次的计算机专业人才已成为许多重点大学计算机专业教育的主要目标。目前,我国共有16个国家重点学科、20个博士点一级学科、28个博士点二级学科集中在教育部部属重点大学,这些高校在计算机教学和科研方面具有一定优势,并且大多以国际著名大学计算机教育为参照系,具有系统完善的教学课程体系、教学实验体系、教学质量保证体系和人才培养评估体系等综合体系,形成了培养一流人才的教学和科研环境。

重点大学计算机学科的教学与科研氛围是培养一流计算机人才的基础,其中专业教材的使用和建设则是这种氛围的重要组成部分,一批具有学科方向特色优势的计算机专业教材作为各重点大学的重点建设项目成果得到肯定。为了展示和发扬各重点大学在计算机专业教育上的优势,特别是专业教材建设上的优势,同时配合各重点大学的计算机学科建设和专业课程教学需要,在教育部相关教学指导委员会专家的建议和各重点大学的大力支持下,清华大学出版社规划并出版本系列教材。本系列教材的建设旨在“汇聚学科精英、引领学科建设、培育专业英才”,同时以教材示范各重点大学的优秀教学理念、教学方法、教学手段和教学内容等。

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) 面向学科发展的前沿,适应当前社会对计算机专业高级人才的培养需求。教材内容以基本理论为基础,反映基本理论和原理的综合应用,重视实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要能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,保证质量。规划教材建设的重点依然是专业基础课和专业主干课;特别注意选择并安排了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重点大学

计算机专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。专业基础课和专业主干课教材要配套,同一门课程可以有多种具有不同内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化的关系;基本教材与辅助教材以及教学参考书的关系;文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制订教材规划时要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。书稿完成后要认真实行审稿程序,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。

教材编委会

前言

本书的来由

本书的前身是《嵌入式系统开发原理与实践》，该书自 2005 年问世以来，作为浙江大学嵌入式系统国家精品课程与众多兄弟院校相关课程的配套教材，已经被大量的学生和工程技术人员采用。从教学反馈意见来看，它对浙江大学嵌入式系统课程的教学和嵌入式系统知识在国内的普及起到了积极的作用。我们倾听了许多读者的意见，对他们提出的建议与宝贵的修改意见表示诚挚的谢意。

一晃 5 年过去了，嵌入式系统已成为 IT 行业中增长最快的领域之一，新平台和新应用不断涌现，智能手机、PDA、UMPC 等旧时王谢堂前燕早已悄然飞入寻常百姓家。在这样的背景下，我们深感原教材的内容已不足以满足嵌入式系统课程的发展需要。在“国家十一五规划教材”相关精神指导下，为了反映近几年来嵌入式系统领域的迅速变化，适应新背景下嵌入式系统的课程教学，我们对原教材进行了大幅的修订，如对 Linux 内核的介绍由原来的 2.4.18 版本升级到 2.6.30 版本，更换了硬件实验平台，添加了对 Android 系统的介绍和应用等。此外，为了方便在实际教学中的使用，我们把全书的内容分为上下两篇，将原理和实验分成两部分。

本书的组织

本书在编写时，充分考虑了嵌入式开发过程中不同层次读者的要求，努力做到以下几点：

- 内容紧凑。使读者能掌握基本概念和基本理论，叙述上力求简明扼要，由浅入深。
- 面向实践。本书兼顾教学、科研和应用的需要，对于广大高等院校高年级本科学生和硕士生而言，是一本学习嵌入式系统开发的教科书；对于从事嵌入式系统开发的工作者而言，是一本实用的参考书。
- 突出实验。书中几乎每章都有实验设计，而且绝大部分实验均系作者设计验证，具有参考价值。而且在每章之后都有相应的思考题或实验提示，供读者进一步深化研究。

全书分为原理和实验两部分。

原理部分：

第 1 章 “嵌入式系统概述”。介绍嵌入式系统的应用领域和发展方向,并为刚开始学习嵌入式系统的技术人员进行一个入门级的介绍,内容包括嵌入式微处理器和嵌入式操作系统,并在此基础上介绍嵌入式系统设计平台的选择和设计开发的主要过程等。

第 2 章 “ARM 处理器和架构”。介绍 ARM9 处理器的架构及其内存管理。包括 ARM 公司介绍以及 ARM 指令集体系结构的版本发展,ARM 微处理器系列介绍,ARM9 处理器架构介绍和 ARM9 的内存管理与异常处理。

第 3 章 “ARM9 指令集和汇编”。介绍 ARM9 体系结构的指令集与汇编代码的编写。包括 RISC 的基本知识,ARM 指令寻址方式,ARM 指令和 Thumb 指令介绍。

第 4 章 “嵌入式 Linux 操作系统”。介绍嵌入式 Linux 操作系统的基本知识。包括常见的嵌入式 Linux 操作系统介绍,嵌入式 Linux 的内存管理、进程管理和文件系统。

第 5 章 “Boot Loader 技术”。介绍一些常见的 Boot Loader。包括 Boot Loader 的基本概念,Boot Loader 的典型结构以及 U-Boot 和 vivi 的结构和代码分析。

第 6 章 “ARM-Linux 内核”。介绍基于 ARM 体系结构的 Linux 内核。包括 ARM-Linux 内核和普通 Linux 内核的区别,ARM-Linux 的内存管理、中断管理、进程管理、模块机制,ARM-Linux 的系统调用与 ARM-Linux 系统的启动和初始化等。

第 7 章 “文件系统”。介绍嵌入式文件系统的概况,分析了嵌入式文件系统框架,并对嵌入式 Linux 的典型根文件系统 JFFS2 进行深入剖析,最后介绍了制作根文件系统的方法。

第 8 章 “设备驱动”。介绍嵌入式 Linux 设备驱动程序的基本概念,如 Linux 内核设备模型、Linux 同步机制、工作队列等,同时介绍了 Linux 设备驱动程序结构以及驱动程序的编写、测试、安装和加载方法。

第 9 章 “开发环境和调试技术”。介绍交叉开发环境模式的主要原理和常用的调试技术,分别从宿主机和目标机两个方面简单介绍基础环境的搭建,同时介绍使用 gdb 工具来对嵌入式系统的应用程序和嵌入式 Linux 内核进行调试以及使用 tcpdump 等工具进行网络调试的方法。

第 10 章 “字符设备和驱动程序设计”。介绍字符设备驱动的框架,以及编写简单字符设备驱动需要注意的地方。在此基础上,介绍了两种比较常用的字符设备驱动:GPIO 驱动和 I²C 总线驱动。

第 11 章 “块设备和驱动程序设计”。介绍块设备的特点,块设备驱动编写涉及的数据结构和相关函数,及块设备驱动的开发流程。并以 MMC/SD 卡驱动开发为例分析块设备的开发流程。

第 12 章 “网络设备驱动程序开发”。介绍基础的以太网知识与其接口原理,解析网络设备驱动的数据结构,介绍网络设备驱动开发的详细流程,并以 AT91 SAM9G45 网卡驱动开发为例分析网卡驱动程序的开发流程。

第 13 章 “MiniGUI”。介绍国人自主开发的支持嵌入式的 GUI 系统 MiniGUI,包括 MiniGUI 的原理、特点以及应用,MiniGUI 的安装、配置以及使用与 MiniGUI 的基础编程要点。

第 14 章 “Android 嵌入式系统及应用开发”。介绍 Android 嵌入式系统相关的技术与应用,包括 Android 平台的基础技术以及内核心系统架构,Android 开发环境的搭建方法与 Android 应用开发,应用开发扩展。

实验部分：

第1章 “实验基础”。介绍本书实验部分采用的开发板，包括处理器、硬件资源、软件资源等。

第2章 “开发环境建立”。介绍搭建主机和目标机实验环境，交叉编译和烧写 Boot Loader 的方法，以及 minicom 和 TFTP 服务、U-BOOT 等工具的使用方法。

第3章 “内核和模块构建”。介绍通过交叉编译工具编译针对 Atmel AT91 SAM9G45-EKES 实验平台的内核的方法，通过 samba 工具将内核烧到已经有 Bootstrap 和 U-Boot 的开发板上，同时也介绍 ARM 平台内核模块的编写方法。

第4章 “文件系统构建”。介绍根文件系统在 Linux 系统中的作用，讲解根文件系统的制作过程与烧写开发板的流程。

第5章 “调试技术演练”。介绍使用 gdb 进行本地调试，使用 gdbserver 进行远程调试以及使用 kgdb 调试 ARM-Linux 内核的方法。

第6章 “字符设备驱动程序设计”。以一个虚拟字符设备 virtualcdev 的设计为例介绍了简单的字符设备驱动程序的编写方法。

第7章 “块设备驱动程序设计”。以 SD 卡驱动程序为例介绍了块设备驱动程序开发的特点和流程。

第8章 “网络设备驱动程序设计”。以定制可显示网络统计信息的 ioctl 命令为例介绍了 EMAC 控制器的编程要点和网卡驱动程序的开发流程。

第9章 “MiniGUI 实验设计”。以验证用户名和密码的登录系统框为例介绍了 MiniGUI 的静态框、按钮和编辑框控件等的使用方法。

第10章 “Android 实验设计”。以一个 Android 平台上的 GPS 导航应用为例介绍了 Android 平台上应用程序的开发方法和流程。

作者介绍

本书和它的前身相继得到了英蓓特公司、Atmel 公司、Intel 公司大学合作部等各方支持。本书由陈文智、王总辉统一编排整理定稿。在写作过程中参考了本书前身的不少内容，同时新增加了不少作者，其中朱晨杰参与编写第 2、3、5 章和实验 1、实验 2、实验 10 的部分内容；倪华斐参与编写第 6、7、8 章和实验 3、实验 4 的部分内容；吕团团参与编写第 1、9、10 章和实验 5、实验 6、实验 9 的部分内容；黄大鹏参与编写第 4、11、12 章和实验 7、实验 8、实验 9 的部分内容；景栽君参与编写第 13、14 章的部分内容。写书过程中还得到杨建华先生的无私帮助。

声明和致谢

本书的编写工作在国家教委的指导下进行，得到了浙江大学计算机学院的大力支持，学院的同事们给予了真切的关心、指导和热情帮助，还得到英蓓特公司以及 Atmel 公司的领导和员工们的真诚帮助，在此向各级机关以及所有关心、支持本书出版工作的朋友表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中，我们已尽全力保证本书内容特别是实验的正确性，但由于时间匆忙，且作者自身水平有限，仍然可能有错误存在。无论如何，请读者不吝赐教，以便我们在改版或再版的时候及时纠正补充。

再次感谢所有关心嵌入式事业、关心嵌入式教学、关心本书出版工作的朋友们！

作者

2011 年 1 月于浙江大学 求是园

上篇 原理部分

第 1 章 嵌入式系统概述	3
1.1 嵌入式系统简介	3
1.1.1 嵌入式系统历史与现状	3
1.1.2 嵌入式系统体系结构	4
1.1.3 应用领域和发展方向	5
1.2 嵌入式微处理器	6
1.2.1 嵌入式处理器简介	6
1.2.2 ARM 微处理器的应用领域及一般特点	7
1.2.3 ARM 微处理器系列	8
1.3 嵌入式操作系统	8
1.3.1 嵌入式操作系统简介	8
1.3.2 嵌入式 Linux	9
1.3.3 Windows CE	10
1.3.4 Symbian	11
1.3.5 Android	11
1.3.6 uC/OS-II	12
1.3.7 VxWorks	12
1.3.8 其他嵌入式操作系统	12
1.4 嵌入式系统设计	13
1.4.1 嵌入式系统设计过程	13
1.4.2 硬件设计平台的选择	14
1.4.3 软件设计平台的选择	14
1.4.4 嵌入式应用软件开发	16
1.4.5 测试和优化	17
1.5 小结	18

第 2 章 ARM 处理器和架构	19
2.1 ARM 处理器概述	19
2.1.1 ARM 公司和 ARM 产品简介	19
2.1.2 ARM 指令集体系结构版本	20
2.1.3 ARM 微处理器系列	21
2.2 ARM9 处理器架构	23
2.2.1 ARM9 寄存器	23
2.2.2 流水线技术和哈佛体系结构	26
2.2.3 CP15 协处理器	28
2.3 ARM9 处理器的内存管理	30
2.3.1 内存管理单元的作用	30
2.3.2 ARM9 内存管理	30
2.4 ARM9 异常处理	36
2.4.1 ARM9 异常	36
2.4.2 ARM9 异常处理向量表	37
2.4.3 ARM9 异常处理过程	37
2.5 小结	38
第 3 章 ARM9 指令集和汇编	40
3.1 ARM 指令集概述	40
3.1.1 RISC 简介	40
3.1.2 ARM 状态和 Thumb 状态	41
3.1.3 ARM9 指令类型和指令的条件域	42
3.2 ARM 指令的寻址方式	45
3.2.1 立即寻址	45
3.2.2 寄存器寻址	46
3.2.3 寄存器偏移寻址	46
3.2.4 寄存器间接寻址	46
3.2.5 基址变址寻址	46
3.2.6 多寄存器寻址	47
3.2.7 堆栈寻址	47
3.2.8 相对寻址	48
3.3 ARM 指令简介	48
3.3.1 跳转指令	48
3.3.2 通用数据处理指令	50
3.3.3 乘法指令	53
3.3.4 Load/Store 内存访问指令	55
3.3.5 ARM 协处理器指令	58

3.3.6	杂项指令	60
3.3.7	饱和算术指令	61
3.3.8	ARM 伪指令	62
3.4	Thumb 指令简介	63
3.4.1	Thumb 跳转指令	63
3.4.2	Thumb 通用数据处理指令	64
3.4.3	Thumb 算术指令	66
3.4.4	Thumb 内存访问指令	68
3.4.5	Thumb 软中断和断电指令	70
3.4.6	Thumb 伪指令	71
3.5	小结	71
第 4 章	嵌入式 Linux 操作系统	72
4.1	嵌入式 Linux 简介	72
4.1.1	uClinux	72
4.1.2	RT-Linux	73
4.1.3	红旗嵌入式 Linux	73
4.2	内存管理	73
4.2.1	内存管理和 MMU	73
4.2.2	标准 Linux 的内存管理	74
4.2.3	uClinux 的内存管理	75
4.3	进程管理	76
4.3.1	进程和进程管理	76
4.3.2	RT-Linux 的进程管理	77
4.3.3	标准 Linux 的进程管理	78
4.3.4	uClinux 的进程管理	80
4.4	文件系统	80
4.4.1	文件系统定义	80
4.4.2	Linux 文件系统	80
4.4.3	嵌入式 Linux 文件系统	82
4.5	小结	86
第 5 章	Boot Loader 技术	87
5.1	Boot Loader 基本概念	87
5.1.1	Boot Loader 所支持的硬件环境	87
5.1.2	Boot Loader 的安装地址	88
5.1.3	Boot Loader 相关的设备和基址	88
5.1.4	Boot Loader 的启动过程	88
5.1.5	Boot Loader 的操作模式	88

5.1.6	Boot Loader 与主机之间的通信设备及协议	89
5.2	Boot Loader 的典型结构	89
5.2.1	Boot Loader 阶段 1 介绍	90
5.2.2	Boot Loader 阶段 2 介绍	92
5.2.3	关于串口终端	97
5.3	U-Boot 简介	98
5.3.1	认识 U-Boot	98
5.3.2	U-Boot 特点	98
5.3.3	U-Boot 代码结构分析	99
5.4	vivi 简介	110
5.4.1	认识 vivi	110
5.4.2	vivi 代码导读	110
5.5	小结	118
第 6 章	ARM-Linux 内核	119
6.1	ARM-Linux 内核简介	119
6.1.1	ARM-Linux 内核和普通 Linux 内核的区别	120
6.1.2	ARM-Linux 的版本控制	120
6.1.3	ARM-Linux 的代码结构	120
6.2	ARM-Linux 内存管理	121
6.2.1	影响内存管理的两个方面	121
6.2.2	ARM-Linux 的存储机制	122
6.2.3	虚拟内存	125
6.3	ARM-Linux 进程管理和调度	129
6.3.1	进程的代表和生命周期	129
6.3.2	Linux 进程的创建、执行和销毁	131
6.3.3	Linux 进程的调度	134
6.4	ARM-Linux 的模块机制	135
6.4.1	Linux 模块概述	135
6.4.2	模块代码结构	136
6.4.3	模块的加载	137
6.4.4	模块的卸载	138
6.4.5	版本依赖	139
6.5	ARM-Linux 的中断管理	139
6.6	ARM-Linux 的系统调用	143
6.7	ARM-Linux 系统的启动和初始化	145
6.7.1	使用 Boot Loader 将内核映像载入	145
6.7.2	内核数据结构初始化——内核引导第一部分	145
6.7.3	外设初始化——内核引导第二部分	146

6.7.4	init 进程和 inittab 脚本	147
6.7.5	rc 启动脚本	148
6.7.6	Shell 的启动	148
6.8	小结	149
第 7 章	文件系统	150
7.1	嵌入式文件系统	150
7.1.1	嵌入式文件系统简介	150
7.1.2	Linux 文件系统简介	152
7.2	嵌入式 Linux 文件系统框架	153
7.3	JFFS2 嵌入式文件系统	154
7.3.1	目录节点的定义	156
7.3.2	数据节点	156
7.3.3	可靠性支持	157
7.3.4	内存使用	157
7.3.5	垃圾收集	159
7.3.6	写平衡	159
7.3.7	JFFS2 的不足之处	160
7.3.8	JFFS3 简介	160
7.4	根文件系统	160
7.4.1	什么是根文件系统	160
7.4.2	建立 JFFS2 根文件系统	161
7.5	小结	165
第 8 章	设备驱动	166
8.1	Linux 驱动程序简介	166
8.1.1	设备的分类	167
8.1.2	设备文件	167
8.1.3	主设备号和次设备号	168
8.1.4	Linux 设备驱动代码的分布	168
8.1.5	Linux 设备驱动程序的特点	169
8.2	设备驱动程序结构	169
8.2.1	驱动程序的注册与注销	169
8.2.2	设备的打开与释放	170
8.2.3	设备的读写操作	171
8.2.4	设备的控制操作	171
8.2.5	设备的轮询和中断处理	171
8.3	Linux 内核设备模型	172
8.3.1	设备模型建立的目的	173

8.3.2	sysfs——设备拓扑结构的文件系统表现	173
8.3.3	驱动模型和 sysfs	174
8.3.4	kobject	175
8.3.5	platform 总线	177
8.4	同步机制	179
8.4.1	同步锁	179
8.4.2	信号量	183
8.4.3	读写信号量	184
8.4.4	原子操作	185
8.4.5	完成事件(completion)	187
8.4.6	时间	187
8.5	内存映射和管理	189
8.5.1	物理地址映射到虚拟地址	190
8.5.2	内核空间映射到用户空间	190
8.6	工作队列	193
8.7	异步 I/O	195
8.8	DMA	197
8.8.1	DMA 数据传输	198
8.8.2	DMA 定义	198
8.8.3	DMA 映射	199
8.9	小结	199
第 9 章	开发环境和调试技术	200
9.1	交叉开发环境模式概述	200
9.2	宿主机环境	201
9.2.1	串口终端	202
9.2.2	BOOTP 协议	202
9.2.3	TFTP 协议	202
9.2.4	交叉编译	203
9.2.5	make 工具	203
9.3	目标板环境	208
9.3.1	JTAG 接口简介	208
9.3.2	Boot Loader 简介	208
9.4	交叉编译工具链	208
9.4.1	交叉编译的构建	209
9.4.2	相关工具	209
9.5	gdb 调试器	212
9.6	远程调试	216
9.6.1	远程调试原理	216

9.6.2	gdb 远程调试功能	217
9.6.3	使用 gdbserver	218
9.7	内核调试	221
9.7.1	内核调试技术	221
9.7.2	kgdb 内核调试	223
9.8	网络调试	224
9.9	小结	226
第 10 章	字符设备和驱动程序设计	228
10.1	字符设备驱动框架	228
10.2	字符设备驱动开发	229
10.2.1	设备号	229
10.2.2	关键数据结构	232
10.2.3	字符设备注册和注销	235
10.3	GPIO 驱动概述	236
10.4	串行总线概述	237
10.4.1	SPI 总线	237
10.4.2	I ² C 总线	238
10.4.3	SMBus 总线	239
10.5	I ² C 总线驱动开发	239
10.5.1	I ² C 驱动架构	239
10.5.2	关键数据结构	240
10.5.3	I ² C 核心	243
10.5.4	I ² C 总线驱动	244
10.5.5	I ² C 设备驱动	245
10.6	小结	246
第 11 章	块设备和驱动程序设计	247
11.1	块设备驱动程序设计概要	247
11.1.1	块设备的数据交换方式	248
11.1.2	块设备读写请求	248
11.2	Linux 块设备驱动相关数据结构与函数	249
11.2.1	gendisk 结构	249
11.2.2	request 结构	250
11.2.3	request_queue 队列	252
11.2.4	bio 结构	254
11.3	块设备的注册与注销	256
11.4	块设备初始化与卸载	256
11.5	块设备操作	256

11.6	请求处理	258
11.7	MMC/SD 卡驱动	259
11.7.1	MMC/SD 芯片介绍	260
11.7.2	MMC/SD 卡驱动结构	264
11.7.3	MMC/SD 卡块设备驱动分析	265
11.7.4	HSMCI 接口驱动设计分析	272
11.8	小结	282
第 12 章	网络设备驱动程序开发	283
12.1	以太网基础知识	283
12.1.1	CSMA/CD 协议	285
12.1.2	以太网帧结构	286
12.1.3	嵌入式系统中常用网络协议	287
12.2	嵌入式网络设备驱动开发概述	288
12.3	网络设备驱动基本数据结构	290
12.3.1	net_device 数据结构	290
12.3.2	sk_buffer 数据结构	292
12.4	网络设备初始化	293
12.5	打开和关闭接口	294
12.6	数据接收与发送	294
12.7	查看状态与参数设置	295
12.8	AT91SAM9G45 网卡驱动	296
12.8.1	EMAC 模块简介	296
12.8.2	模块图	297
12.8.3	功能描述	297
12.8.4	寄存器描述	298
12.8.5	AT91SAM9G45 芯片 EMAC 控制器驱动分析	301
12.9	小结	308
第 13 章	MiniGUI	309
13.1	MiniGUI 概述	310
13.1.1	MiniGUI 简介	310
13.1.2	MiniGUI 特点	310
13.1.3	MiniGUI 应用	311
13.2	MiniGUI 安装与配置	312
13.2.1	安装 GUI 相关程序	312
13.2.2	配置 MiniGUI 环境	313
13.3	MiniGUI 的使用	315
13.3.1	编译应用程序	315

13.3.2	交叉编译	315
13.4	MiniGUI 的编程	316
13.4.1	编程环境介绍	317
13.4.2	MiniGUI 框架介绍	317
13.4.3	基础编程	320
13.4.4	对话框和控件编程	327
13.4.5	图形编程	336
13.5	小结	341
第 14 章	Android 嵌入式系统及应用开发	342
14.1	Android 概述	342
14.1.1	简介	343
14.1.2	Android 系统架构	344
14.1.3	Android 应用扩展	345
14.2	Android 开发环境搭建	346
14.2.1	Android 开发环境介绍	346
14.2.2	环境搭建步骤	346
14.2.3	Android SDK 介绍	347
14.3	Android 应用开发	349
14.3.1	创建 Android 工程	349
14.3.2	Hello World! 例程	352
14.4	Android 应用开发扩展	353
14.4.1	基础 UI 设计	353
14.4.2	扩展性设计	357
14.5	小结	358
下篇 实验部分		
第 1 章	实验基础	361
第 2 章	开发环境建立	376
第 3 章	内核和模块构建	390
第 4 章	文件系统构建	402
第 5 章	调试技术演练	408
第 6 章	字符设备驱动程序设计	419