



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

嵌入式与工业控制技术

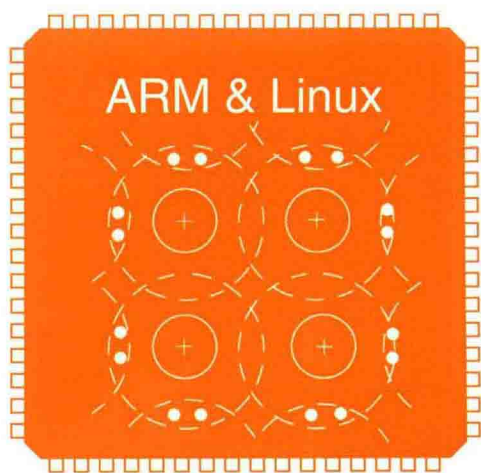
Embedded Linux System Development
Based on ARM Processor

嵌入式Linux系统开发

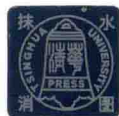
—— 基于ARM处理器通用平台

冯新宇 编著

Feng Xinyu



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Embedded Linux System Development
Based on ARM Processor

嵌入式Linux系统开发

——基于ARM处理器通用平台

冯新宇 编著

Feng Xinyu

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统论述了基于 ARM 处理器的嵌入式 Linux 系统开发的原理、方法与实践。全书共 15 章，分别介绍了嵌入式 Linux 系统管理、Linux 编程基础、Linux 高级编程、Linux 内核开发、Linux 系统移植和 Linux 驱动程序开发等。

本书内容吸收了作者在 Linux 系统教学、科研和实际项目开发中的经验，实践性强。在内容编排上，按照读者学习的一般性规律，结合大量实例论述，能够使读者高效地掌握嵌入式 Linux 系统的基本原理和应用方法。本书既可以作为高等院校相关专业的教材，也可以作为从事嵌入式系统开发人员的参考用书。

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

嵌入式 Linux 系统开发：基于 ARM 处理器通用平台/冯新宇编著. —北京：清华大学出版社，2017
(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-48219-2

I. ①嵌… II. ①冯… III. ①Linux 操作系统—高等学校—教材 IV. ①TP316.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 209681 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：沈 露

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：北京密云胶印厂

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：25.75 字 数：621 千字

版 次：2017 年 11 月第 1 版 印 次：2017 年 11 月第 1 次印刷

印 数：1~2000

定 价：79.00 元

产品编号：076191-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

| | | | |
|-----|--------------------|-----|--------------------|
| 谈振辉 | 北京交通大学 (教指委高级顾问) | 郁道银 | 天津大学 (教指委高级顾问) |
| 廖延彪 | 清华大学 (特约高级顾问) | 胡广书 | 清华大学 (特约高级顾问) |
| 华成英 | 清华大学 (国家级教学名师) | 于洪珍 | 中国矿业大学 (国家级教学名师) |
| 彭启琮 | 电子科技大学 (国家级教学名师) | 孙肖子 | 西安电子科技大学 (国家级教学名师) |
| 邹逢兴 | 国防科学技术大学 (国家级教学名师) | 严国萍 | 华中科技大学 (国家级教学名师) |

一 编审委员会

| | | | | |
|--------|-----|-----------|-----|----------------|
| 主任 | 吕志伟 | 哈尔滨工业大学 | | |
| 副主任 | 刘旭 | 浙江大学 | 王志军 | 北京大学 |
| | 隆克平 | 北京科技大学 | 葛宝臻 | 天津大学 |
| | 秦石乔 | 国防科学技术大学 | 何伟明 | 哈尔滨工业大学 |
| | 刘向东 | 浙江大学 | | |
| 委员 | 王志华 | 清华大学 | 宋梅 | 北京邮电大学 |
| | 韩焱 | 中北大学 | 张雪英 | 太原理工大学 |
| | 殷福亮 | 大连理工大学 | 赵晓晖 | 吉林大学 |
| | 张朝柱 | 哈尔滨工程大学 | 刘兴钊 | 上海交通大学 |
| | 洪伟 | 东南大学 | 陈鹤鸣 | 南京邮电大学 |
| | 杨明武 | 合肥工业大学 | 袁东风 | 山东大学 |
| | 王忠勇 | 郑州大学 | 程文青 | 华中科技大学 |
| | 曾云 | 湖南大学 | 李思敏 | 桂林电子科技大学 |
| | 陈前斌 | 重庆邮电大学 | 张怀武 | 电子科技大学 |
| | 谢泉 | 贵州大学 | 卞树檀 | 第二炮兵工程大学 |
| | 吴瑛 | 解放军信息工程大学 | 刘纯亮 | 西安交通大学 |
| | 金伟其 | 北京理工大学 | 毕卫红 | 燕山大学 |
| | 胡秀珍 | 内蒙古工业大学 | 付跃刚 | 长春理工大学 |
| | 贾宏志 | 上海理工大学 | 顾济华 | 苏州大学 |
| | 李振华 | 南京理工大学 | 韩正甫 | 中国科学技术大学 |
| | 李晖 | 福建师范大学 | 何兴道 | 南昌航空大学 |
| | 何平安 | 武汉大学 | 张新亮 | 华中科技大学 |
| | 郭永彩 | 重庆大学 | 曹益平 | 四川大学 |
| | 刘缠牢 | 西安工业大学 | 李儒新 | 中科院上海光学精密机械研究所 |
| | 赵尚弘 | 空军工程大学 | 董友梅 | 京东方科技集团 |
| | 蒋晓瑜 | 装甲兵工程学院 | 蔡毅 | 中国兵器科学研究院 |
| | 仲顺安 | 北京理工大学 | 冯其波 | 北京交通大学 |
| | 黄翊东 | 清华大学 | 张有光 | 北京航空航天大学 |
| | 李勇朝 | 西安电子科技大学 | 江毅 | 北京理工大学 |
| | 章毓晋 | 清华大学 | 张伟刚 | 南开大学 |
| | 刘铁根 | 天津大学 | 宋峰 | 南开大学 |
| | 王艳芬 | 中国矿业大学 | 靳伟 | 香港理工大学 |
| | 苑立波 | 哈尔滨工程大学 | | |
| 丛书责任编辑 | 盛东亮 | 清华大学出版社 | | |

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元, 行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显, 更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长, 电子信息产业的发展呈现了新的特点, 电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展, 传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术, 它们一起构成了庞大而复杂的系统, 派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求, 迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂, 系统的集成度越来越高。因此, 要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动, 半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源, 系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统, 为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》, 将电子信息类专业进行了整合, 为各高校建立系统化的人才培养体系, 培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点, 这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计, 较少涉及系统级的集成与设计。近年来, 国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革, 这些改革顺应时代潮流, 从系统集成的角度, 更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量, 贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神, 教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作, 并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展, 提高教学水平, 满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程, 适用于电子信息类的电子信息

工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通，初步拟定分批次（2014—2017年）建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下，突出技术的先进性和科学的前沿性，体现创新教学和工程实践教学；将重视系统集成思想在教学中的体现，鼓励推陈出新，采用“自顶向下”的方法编写教材；将注重反映优秀的教学改革成果，推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量，本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任，编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时，清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队，力求高水准出版。本系列教材的建设，不仅有众多高校教师参与，也有大量知名的电子信息类企业支持。在此，谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢，并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

嵌入式系统及其应用是一个庞大的知识体系，笔者在多年的授课过程中，也很难选择一本合适的书作为本科学生的授课教材。结合课堂讲稿和学生的部分毕业设计内容，以及在学生学习过程中经常遇到的问题，笔者整理成本书——《嵌入式 Linux 系统开发——基于 ARM 处理器通用平台》，之所以这么命名，是打破了以前 ARM9 体系或者 ARM11 体系的框架。Linux 操作系统在 ARM9 之上的处理器均有较好的兼容，读者稍加修改，代码就能应用，所以命名时就回避了某一款处理器的限定。关于嵌入式有太多的内容可以介绍，本书侧重应用，并结合了当前嵌入式的发展和应用。

嵌入式系统无疑是当前最热门、最有发展前途的 IT 应用领域之一。嵌入式系统用在某些特定的专用设备上，通常这些设备的硬件资源（如处理器、存储器等）非常有限，并且对成本很敏感，有时还对实时响应等要求很高。特别是随着消费家电的智能化，嵌入式更重要。像我们平时常见的手机、PDA、电子字典、可视电话、数字相机、数字摄像机、机顶盒、高清电视、游戏机、智能玩具、交换机、路由器、数控设备或仪表、汽车电子、家电控制系统、医疗仪器、航天航空设备等都是典型的嵌入式系统。

嵌入式系统是软硬结合的产品，嵌入式开发主要分为两类。

一类是无线电相关专业，例如电子工程、通信工程专业出身的人，他们主要搞硬件设计，有时需要开发一些与硬件关系最密切的最底层软件（例如 BootLoader、Board Support Package）、最初级的硬件驱动程序等。他们的优势是对硬件原理非常清楚，不足是他们更擅长定义各种硬件接口，但对复杂的软件系统往往力不从心（例如嵌入式操作系统原理和复杂的应用软件等）。

另一类是软件、计算机专业出身的人，主要从事嵌入式操作系统和应用软件的开发。如果我们学软件的人对硬件原理和接口有较好的掌握，也完全可以编写 BSP 和硬件驱动程序。嵌入式硬件设计完成后，各种功能就全靠软件来实现了。嵌入式设备的增值很大程度上取决于嵌入式软件，设备越智能，系统越复杂，软件的作用越关键，这也是目前的趋势。

目前，国内外的相关人才都很稀缺。一方面，该领域入门门槛较高，不仅要了解较底层的软件（例如操作系统级、驱动程序级软件），对软件专业水平要求较高（嵌入式系统对软件设计的时间和空间效率要求较高），而且必须熟悉硬件的工作原理，所以非专业 IT 人员很难切入这一领域；另一方面，该领域较新，发展太快，很多软硬件技术出现时间不长或正在出现（例如 ARM 处理器、嵌入式操作系统、MPEG 技术、无线通信协议等），掌握这些新技术的人较少。嵌入式人才稀缺，身价自然就高。嵌入式人才稀少的根本原因可能是大多数人无条件接触该领域，这需要相应的嵌入式开发板和软件，另外需要有经验的人进行开发流

程的指导。

与企业计算等应用软件的开发人员不同，嵌入式领域人才的工作强度通常较低，收入却很高。从事企业应用软件的IT人员，这个用户的系统开发完成后，又要去开发下一个用户的系统，并且每个用户的需求和完成时间都必须按客户要求改变，往往疲于奔命，重复劳动。相比而言，开发嵌入式系统的公司，都有自己的产品计划，按自己的节奏行事，所开发的产品通常是通用的，不会因客户的不同而修改。某一型号的产品开发完成后，往往有较长的一段空闲时间（或只是对软件进行一些小修补），有时间进行充电和休整。另外，从事嵌入式软件开发的人员的工作范围相对狭窄，所涉及的专业技术范围比较小（ARM、RTOS、MPEG、802.11等），随着时间的累积，经验也逐渐累积，可“倚老卖老”，寥寥数语的指导就足够让初入道者琢磨半年。如果从事应用软件开发，可能不同的客户的软件开发平台也完全不同，这会使得开发工作也相对更加辛苦。

嵌入式开发更注重的是练习，嵌入式系统开发设计最难的是入门，嵌入式系统开发涉及知识较多，初学者很难从纷杂的知识中快速上手学习，现在市面上用于嵌入式开发的学习板比比皆是，价格都比较低廉，读者可以买一款相对通用的开发板，按照书中的操作练习，本书将一步一步引导初学者进行嵌入式开发的学习。任何知识的学习都是由浅入深，由感性认识到理性认识，掌握了前几章的学习，相信读者一定能够掌握嵌入式入门开发的基本要领。

本书主要由冯新宇编写。此外，本书第11~15章由蒋洪波编写。参与编写的还有杨昕宇、刘宇莹、刘琳、史殿发、孟莹等。

感谢广州碾展公司的技术支持！

感谢您选择了本书，希望我们的努力对您的工作和学习有所帮助，也希望您把对本书的意见和建议反馈给我们。

作者

2017年4月

学习说明

Study Shows

学习资源

为了方便读者学习，本书配套提供了教学课件、相关设计文档、源代码，以及免费的 Linux 安装包。购买本书的读者可加入 QQ 交流群号，获取百度网盘链接下载地址。

注意：所有教学课件及工程文件仅限购买本书读者学习使用，不得以任何方式传播！

作者联络方式

电子邮件：88574099@163.com

嵌入式交流 QQ 群号：185156135

微信公众号



目录

CONTENTS

| | |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 Linux 概述与系统管理 | 1 |
| 1.1 嵌入式系统概述 | 1 |
| 1.1.1 嵌入式系统的发展历史 | 1 |
| 1.1.2 嵌入式系统的特点 | 2 |
| 1.1.3 嵌入式系统的体系结构 | 2 |
| 1.1.4 典型嵌入式系统介绍 | 3 |
| 1.2 嵌入式 Linux 基础 | 4 |
| 1.2.1 Linux 发行版本 | 4 |
| 1.2.2 Linux 定制安装 | 6 |
| 1.3 Linux 常用命令 | 18 |
| 1.3.1 系统管理相关命令 | 18 |
| 1.3.2 文件管理相关命令 | 19 |
| 1.3.3 备份压缩相关命令 | 25 |
| 1.3.4 网络通信相关命令 | 26 |
| 1.3.5 其他常用命令 | 30 |
| 1.4 服务器配置 | 34 |
| 1.4.1 samba 服务器 | 34 |
| 1.4.2 NFS 服务器 | 38 |
| 1.4.3 TFTP 服务器 | 40 |
| 习题与练习 | 42 |
| 第 2 章 Linux 脚本编程 | 43 |
| 2.1 常用 shell 命令 | 43 |
| 2.2 脚本编写基础 | 44 |
| 2.2.1 特殊字符 | 44 |
| 2.2.2 变量和参数 | 46 |
| 2.2.3 退出和退出状态 | 48 |
| 2.3 流程控制 | 49 |
| 2.3.1 条件测试 | 49 |
| 2.3.2 操作符相关主题 | 51 |
| 2.3.3 循环控制 | 53 |

| | |
|-----------------------|-----------|
| 2.3.4 测试与分支 | 55 |
| 习题与练习 | 58 |
| 第3章 Linux 编程基础 | 59 |
| 3.1 编辑器介绍 | 59 |
| 3.1.1 vi 介绍 | 59 |
| 3.1.2 vi 的各模式功能键 | 60 |
| 3.2 程序编译与调试 | 63 |
| 3.2.1 gcc 编译流程 | 64 |
| 3.2.2 gcc 编译选项分析 | 64 |
| 3.2.3 gdb 程序调试 | 69 |
| 习题与练习 | 75 |
| 第4章 C 语言进阶 | 76 |
| 4.1 C 语言的基本知识 | 76 |
| 4.2 数据类型 | 77 |
| 4.2.1 常量和变量 | 78 |
| 4.2.2 进制 | 78 |
| 4.2.3 字符 | 79 |
| 4.2.4 转义符与字符集 | 79 |
| 4.2.5 类型转换 | 79 |
| 4.2.6 输入输出 | 82 |
| 4.2.7 运算符 | 83 |
| 4.3 控制语句 | 86 |
| 4.3.1 分支语句 | 86 |
| 4.3.2 循环语句 | 88 |
| 4.4 数组与字符串 | 97 |
| 4.4.1 数组的定义 | 97 |
| 4.4.2 数组本质探讨 | 98 |
| 4.4.3 一维数组和二维数组 | 99 |
| 4.4.4 字符串 | 101 |
| 4.5 函数 | 103 |
| 4.5.1 函数的定义 | 103 |
| 4.5.2 函数的深度剖析 | 103 |
| 4.5.3 函数的作用剖析 | 104 |
| 4.6 指针 | 108 |
| 4.6.1 指针的本质 | 108 |
| 4.6.2 连续空间的内存地址 | 108 |
| 4.6.3 指针变量 | 109 |

| | | |
|--------------|---------------------|------------|
| 4.6.4 | 指针数组和指针的指针 | 111 |
| 4.6.5 | 函数和指针 | 115 |
| 4.7 | 预处理指令 | 119 |
| 4.7.1 | 宏定义 | 120 |
| 4.7.2 | #include | 121 |
| 4.7.3 | 条件编译 | 121 |
| | 习题与练习 | 123 |
| 第 5 章 | 文件 I/O 编程 | 124 |
| 5.1 | 文件和目录 | 124 |
| 5.2 | 目录操作 | 126 |
| 5.3 | 文件操作 | 134 |
| 5.3.1 | 基本概念 | 134 |
| 5.3.2 | 检查文件及确定文件的权限 | 136 |
| 5.3.3 | 创建文件 | 137 |
| 5.3.4 | 打开文件 | 138 |
| 5.3.5 | 关闭文件 | 139 |
| 5.3.6 | 删除文件 | 140 |
| 5.3.7 | 文件指针移动 | 142 |
| 5.3.8 | 其他常用函数 | 145 |
| 5.4 | 设备控制 | 148 |
| 5.5 | Linux 时间编程 | 159 |
| 5.5.1 | 取得目前的时间 | 159 |
| 5.5.2 | 取得目前时间和日期 | 160 |
| 5.5.3 | 取得当地目前时间和日期 | 161 |
| 5.5.4 | 将时间结构数据转换成经过的秒数 | 162 |
| 5.5.5 | 设置目前时间 | 162 |
| 5.5.6 | 取得当前时间 | 163 |
| 5.5.7 | 将时间和日期以 ASCII 码格式表示 | 164 |
| 5.5.8 | 将时间和日期以字符串格式表示 | 164 |
| | 习题与练习 | 165 |
| 第 6 章 | 进程控制 | 166 |
| 6.1 | 进程控制概述 | 166 |
| 6.1.1 | 进程的定义 | 166 |
| 6.1.2 | 进程控制块 | 167 |
| 6.1.3 | 分配进程描述符 | 168 |
| 6.1.4 | 进程的创建 | 168 |
| 6.1.5 | 进程状态 | 169 |

| | | |
|------------|---------------|------------|
| 6.1.6 | 进程调度 | 171 |
| 6.1.7 | 虚拟内存 | 172 |
| 6.1.8 | 文件锁 | 172 |
| 6.2 | 进程控制编程 | 173 |
| 6.2.1 | 创建进程 | 173 |
| 6.2.2 | 进程终止 | 181 |
| 6.2.3 | 守护进程 | 186 |
| | 习题与练习 | 187 |
| 第7章 | 进程间通信 | 188 |
| 7.1 | 进程间通信概述 | 188 |
| 7.2 | 管道通信 | 190 |
| 7.2.1 | 无名管道 | 190 |
| 7.2.2 | 有名管道 | 192 |
| 7.2.3 | 标准流管道 | 195 |
| 7.3 | 消息队列 | 196 |
| 7.3.1 | 键值 | 196 |
| 7.3.2 | 打开/创建消息队列 | 197 |
| 7.3.3 | 发送消息 | 197 |
| 7.3.4 | 接收消息 | 198 |
| 7.3.5 | 消息控制 | 198 |
| 7.4 | 信号 | 201 |
| 7.4.1 | 信号处理的方式 | 201 |
| 7.4.2 | 信号操作指令 | 201 |
| 7.5 | 信号量 | 207 |
| 7.5.1 | 信号量创建 | 208 |
| 7.5.2 | 信号量操作 | 208 |
| 7.6 | 内存共享 | 214 |
| 7.6.1 | 共享内存创建 | 214 |
| 7.6.2 | 共享内存的操作 | 216 |
| 7.6.3 | 共享内存段连接到本进程空间 | 216 |
| 7.6.4 | 共享内存解除 | 217 |
| | 习题与练习 | 220 |
| 第8章 | 多线程技术 | 221 |
| 8.1 | Linux 多线程概念 | 221 |
| 8.2 | Linux 线程实现 | 222 |
| 8.2.1 | 线程创建 | 222 |
| 8.2.2 | 线程退出 | 224 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 8.2.3 | 线程等待 | 226 |
| 8.2.4 | 线程标识获取 | 228 |
| 8.2.5 | 线程清除 | 229 |
| 8.3 | 线程函数传递及修改线程的属性 | 232 |
| 8.3.1 | 线程函数传递 | 232 |
| 8.3.2 | 绑定属性 | 235 |
| 8.3.3 | 分离属性 | 236 |
| 8.3.4 | 优先级属性 | 237 |
| 8.3.5 | 线程的互斥 | 239 |
| 8.3.6 | 线程的同步 | 241 |
| 8.3.7 | 信号量 | 243 |
| | 习题与练习 | 245 |
| 第9章 | 网络编程 | 246 |
| 9.1 | 基本概念 | 246 |
| 9.1.1 | OSI 模型 | 246 |
| 9.1.2 | 常用命令 | 247 |
| 9.1.3 | 网络地址 | 247 |
| 9.1.4 | IP 设置项 | 248 |
| 9.1.5 | 端口 | 248 |
| 9.2 | TCP/IP 协议 | 249 |
| 9.2.1 | 整体构架概述 | 249 |
| 9.2.2 | IP 协议 | 250 |
| 9.2.3 | ICMP 协议 | 251 |
| 9.2.4 | UDP 协议 | 251 |
| 9.2.5 | TCP 协议 | 252 |
| 9.2.6 | TCP 连接的建立 | 253 |
| 9.3 | 基本网络函数介绍 | 253 |
| 9.3.1 | 建立一个 socket 通信 | 253 |
| 9.3.2 | 对 socket 定位 | 254 |
| 9.3.3 | 等待连接 | 255 |
| 9.3.4 | 建立 socket 连线 | 255 |
| 9.4 | 服务器和客户端的信息函数 | 256 |
| 9.4.1 | 字节转换函数 | 256 |
| 9.4.2 | IP 和域名的转换 | 257 |
| 9.4.3 | 字符串的 IP 和 32 位的 IP 转换 | 259 |
| 9.4.4 | 服务信息函数 | 260 |
| 9.5 | 完整的读写函数 | 260 |
| 9.5.1 | write | 260 |

| | | |
|---------------|-----------------|------------|
| 9.5.2 | read | 261 |
| 9.5.3 | 数据的传递 | 261 |
| 9.6 | 用户数据报发送 | 262 |
| 9.6.1 | recvfrom | 262 |
| 9.6.2 | sendto | 262 |
| 9.7 | 高级套接字函数 | 263 |
| 9.7.1 | recv | 263 |
| 9.7.2 | send | 263 |
| 9.7.3 | recvmsg | 264 |
| 9.7.4 | sendmsg | 264 |
| 9.7.5 | 套接字的关闭 | 265 |
| 9.8 | 套接字选项 | 265 |
| 9.8.1 | getsockopt | 265 |
| 9.8.2 | setsockopt | 266 |
| 9.8.3 | ioctl | 267 |
| 9.9 | 服务器模型 | 267 |
| 9.9.1 | 循环服务器: UDP 服务器 | 267 |
| 9.9.2 | 循环服务器: TCP 服务器 | 268 |
| 9.9.3 | 并发服务器: TCP 服务器 | 271 |
| 9.9.4 | 并发服务器: 多路复用 I/O | 272 |
| 9.9.5 | 并发服务器: UDP 服务器 | 273 |
| | 习题与练习 | 276 |
| 第 10 章 | 内核开发基础 | 277 |
| 10.1 | 嵌入式开发环境搭建 | 277 |
| 10.1.1 | 交叉编译工具链 | 278 |
| 10.1.2 | 终端软件 | 281 |
| 10.2 | Linux 内核简介 | 282 |
| 10.2.1 | Linux 内核 | 282 |
| 10.2.2 | Linux 内核源代码 | 285 |
| 10.3 | Linux 内核配置与编译 | 285 |
| 10.3.1 | Linux 内核配置 | 286 |
| 10.3.2 | 编译内核 | 288 |
| 10.4 | Linux 内核模块 | 288 |
| 10.4.1 | 内核模块简介 | 288 |
| 10.4.2 | 内核模块编译与相关命令 | 289 |
| 10.5 | 文件系统 | 289 |
| 10.5.1 | 文件系统简介 | 290 |
| 10.5.2 | 根文件系统 | 291 |

| | | |
|---------------|------------------------|------------|
| 10.5.3 | Busybox | 293 |
| 10.5.4 | Ramdisk 文件系统 | 299 |
| | 习题与练习 | 299 |
| 第 11 章 | BootLoader | 300 |
| 11.1 | BootLoader 介绍 | 300 |
| 11.1.1 | BootLoader 的安装和启动 | 300 |
| 11.1.2 | BootLoader 的操作模式 | 301 |
| 11.1.3 | BootLoader 与主机之间的通信方式 | 301 |
| 11.1.4 | 常用 BootLoader 介绍 | 301 |
| 11.2 | U-boot 介绍 | 302 |
| 11.2.1 | 目录结构 | 302 |
| 11.2.2 | U-boot 的主要功能 | 303 |
| 11.2.3 | U-boot 的工具 | 303 |
| 11.3 | U-boot 工作流程 | 304 |
| 11.3.1 | stage1 | 305 |
| 11.3.2 | stage2 | 306 |
| 11.4 | U-boot 编译 | 308 |
| | 习题与练习 | 309 |
| 第 12 章 | Linux 驱动开发基础与调试 | 310 |
| 12.1 | 设备驱动简介 | 310 |
| 12.1.1 | 设备类型分类 | 311 |
| 12.1.2 | 内核空间和用户空间 | 312 |
| 12.1.3 | 驱动程序层次结构 | 312 |
| 12.1.4 | 驱动程序与外界接口 | 313 |
| 12.2 | 打印调试 | 315 |
| | 习题与练习 | 316 |
| 第 13 章 | 字符设备驱动 | 317 |
| 13.1 | 字符设备驱动程序基础 | 317 |
| 13.1.1 | 关键数据结构 | 317 |
| 13.1.2 | 设备驱动开发的基本函数 | 319 |
| 13.1.3 | 设备文件和设备号 | 324 |
| 13.1.4 | 加载和卸载驱动程序 | 325 |
| 13.2 | LED 设备驱动程序 | 326 |
| 13.2.1 | LED 接口电路 | 326 |
| 13.2.2 | LED 驱动程序 | 327 |
| 13.2.3 | 加载运行 LED 驱动程序 | 329 |

| | | |
|---------------|-------------------------------|------------|
| 13.3 | 按键设备驱动程序 | 330 |
| 13.3.1 | 按键模块硬件电路 | 330 |
| 13.3.2 | 按键驱动程序 | 331 |
| 13.3.3 | 加载运行按键驱动程序 | 335 |
| 13.4 | DS18B20 驱动程序设计分析 | 336 |
| 13.4.1 | DS18B20 基础知识 | 336 |
| 13.4.2 | DS18B20 代码设计 | 337 |
| | 习题与练习 | 344 |
| 第 14 章 | 块设备驱动 | 345 |
| 14.1 | 块设备驱动程序开发基础 | 345 |
| 14.1.1 | 块设备的 I/O 操作特点 | 345 |
| 14.1.2 | 块设备主要数据结构 | 345 |
| 14.1.3 | 块设备的操作 | 353 |
| 14.2 | IDE 硬盘设备驱动 | 359 |
| 14.2.1 | IDE 硬盘设备原理 | 359 |
| 14.2.2 | S3C2440 与 IDE 接口电路 | 360 |
| 14.2.3 | block_device_operations 及成员函数 | 361 |
| 14.2.4 | I/O 请求处理 | 363 |
| 14.2.5 | 在内核中增加对新系统 IDE 设备的支持 | 369 |
| | 习题与练习 | 372 |
| 第 15 章 | 网络设备驱动 | 373 |
| 15.1 | 网络设备驱动简介 | 373 |
| 15.1.1 | 驱动程序体系结构 | 373 |
| 15.1.2 | 主要数据结构 | 374 |
| 15.1.3 | 基本函数 | 376 |
| 15.2 | CS8900A 网卡设备 | 378 |
| 15.2.1 | CS8900A 简介 | 378 |
| 15.2.2 | CS8900A 网卡接口电路 | 379 |
| 15.3 | CS8900A 设备驱动程序 | 380 |
| 15.3.1 | 初始化网络设备 | 380 |
| 15.3.2 | 打开网络设备 | 385 |
| 15.3.3 | 关闭网络设备 | 386 |
| 15.3.4 | 中断处理 | 387 |
| 15.3.5 | 发送数据 | 389 |
| 15.3.6 | 接收数据 | 391 |
| | 习题与练习 | 392 |
| | 参考文献 | 393 |