

# Linux



- ❖ 畅销3年，内容全面升级
- ❖ 业界权威机构和专家强力推荐
- ❖ 多年培训、研发经验的总结

# 设备驱动 开发详解

(第2版)

华清远见嵌入式培训中心 宋宝华 编著



# Linux



附源代码光盘



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

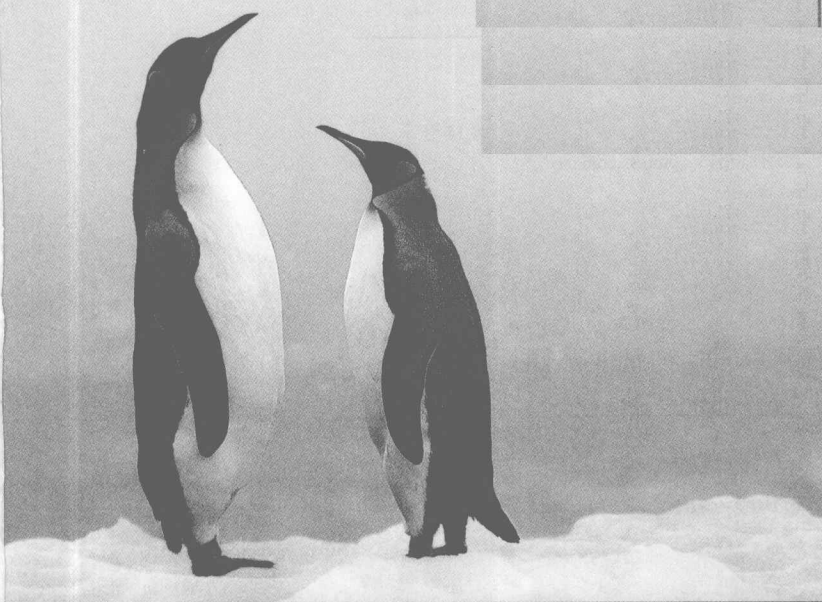
# Linux

## 设备驱动 开发详解

(第2版)

华清远见嵌入式培训中心 宋宝华 编著

# Linux



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

Linux 设备驱动开发详解 / 宋宝华编著. -- 2版

. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2010. 11

ISBN 978-7-115-23657-9

I. ①L… II. ①宋… III. ①UNIX操作系统—程序设计 IV. ①TP316.81

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第158397号

## 内 容 提 要

本书是一本介绍 Linux 设备驱动开发理论、框架与实例的书, 本书基于 LDD6410 开发板, 以 Linux 2.6 版本内核为蓝本, 详细介绍自旋锁、信号量、完成量、中断顶/底半部、定时器、内存和 I/O 映射以及异步通知、阻塞 I/O、非阻塞 I/O 等 Linux 设备驱动理论; 字符设备、块设备、TTY 设备、I<sup>2</sup>C 设备、LCD 设备、音频设备、USB 设备、网络设备、PCI 设备等 Linux 设备驱动的架构和框架中各个复杂数据架构和函数的关系, 并讲解了 Linux 驱动开发的大量实例, 使读者能够独立开发各类 Linux 设备驱动。

本书内容全面, 实例丰富, 操作性强, 语言通俗易懂, 适合广大 Linux 开发人员、嵌入式工程师参考使用。

## Linux 设备驱动开发详解 (第 2 版)

- ◆ 编 著 华清远见嵌入式培训中心 宋宝华  
责任编辑 黄 焱
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 40.75  
字数: 1013 千字 2010 年 11 月第 2 版  
印数: 15 801 - 20 800 册 2010 年 11 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23657-9

定价: 88.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



# 前 言

本书第 1 版在 2008 年初出版以后,受到广大读者的支持和厚爱,从几年的市场和读者反馈看,在第 1 版中还存在一些不足,主要是以下几方面。

- 没有现成的开发环境,读者需要从头到尾构建,而构建需要花费很长的时间,许多时候会不成功,加之配套光盘中的实例没有 Makefile,更加大了操作的难度。
- 没有配套的开发板,大量的基于 S3C2410 的实例读者身边如果没有可以直接运行的平台,就无法亲身体验这些驱动。
- 个别内容实用性不强或过于陈旧,也有个别知识点的讲解语言晦涩,读者不易理解,如 platform 驱动。
- 一些知识点内容不够完整,如 input 驱动、USB UDC 和 gadget 驱动、SPI 驱动、ASoC 驱动等。

鉴于此,作者针对以上问题对第 1 版内容进行修订,推出了第 2 版。新版中对全书超过 40% 的内容进行了修订。这些修订,一些是对过时内容的删除,一些是对讲解不清的知识点的修正,一些是对重点内容的增强,一些则是有用知识点的增加,其目的是为读者提供一套更加准确和完整的全方位、立体式 Linux 设备驱动学习平台。第 2 版相对第 1 版的主要改动如下。

(1) 直接提供 VirtualBox 虚拟机,该虚拟机上已包含了书中所需的开发环境和源代码,读者不再需要安装环境即可进行实验,书中详细介绍了各个实验的步骤。

(2) 提供了专门的配套学习板——基于三星 S3C6410 SoC 的 LDD6410 (Linux Device Drivers 6410),使得书中的各种真实设备驱动实例有了实验的依托。

(3) 全面升级内核至 Linux 2.6.28.6,根据 Linux 内核 API 的变更情况更新了书中的所有内容,如 I<sup>2</sup>C 驱动的体系结构、网络 NAPI 的接口等,并对 delayed\_work 等较新的内核机制进行了介绍。

(4) 删除了过时的内容,如传统的按键驱动、SAA7113H 启动、传统的 IDE 驱动等,同时新增了大量内容,包括 Linux 内核的编码风格、Linux 内核的移植、Android 驱动、USB UDC 和 gadget 驱动、ALSA SoC 驱动、input 驱动、SPI 驱动、基于 sysfs 的设备驱动、Linux 设备驱动的固件加载、Linux 性能调优工具、Linux 设备驱动电源管理、Linux 驱动的分层设计思想、主机驱动与设备驱动分离设计思想等。

(5) 在块设备驱动方面,删除了 RAMDISK 驱动实例,而新增了更加简单易懂的 vmem\_disk、类似于 globalmem 和 globalfifo 驱动。

(6) 对许多关键知识点的讲解进行了语言调整和内容增强,以便读者能更好地理解,例如,以专门章节讲解 platform 驱动等。

全书总体结构仍然与第 1 版一致,共分 4 篇 23 章,内容安排如下。

第 1 篇(第 1~3 章)主要讲解 Linux 设备驱动的基础。

第 1 章主要讲解设备驱动的作用,并从无操作系统的设备驱动引出了 Linux 操作系统下的设



备驱动以及全书所用实验环境的安装方法。

第 2 章系统地讲解了一个 Linux 驱动工程师应该掌握的硬件知识,使读者打下 Linux 设备驱动的硬件基础。本章涵盖了各种类型的 CPU、存储器和常见的外设,并讲解了硬件时序分析方法和仪器使用方法。

第 3 章将 Linux 设备驱动放在 Linux 2.6 内核背景中进行讲解,说明 Linux 内核的基本原理和编程方法,为编写 Linux 设备驱动打下软件基础。

第 2 篇(第 4~12 章)主要讲解 Linux 设备驱动编程的基础理论、字符设备驱动、设备驱动设计中涉及的并发控制、同步等问题以及 Linux 驱动的工程化。

第 4、5 章分别讲解 Linux 内核模块和 Linux 设备文件系统。

第 6~9 章以虚拟设备 `globalmem` 和 `globalfifo` 为主线讲解了字符设备驱动的编写方法,并讲解了并发控制、阻塞与非阻塞、异步 I/O 等高级控制功能。

第 10、11 章分别讲解 Linux 驱动编程中所涉及的中断和定时器,内核和 I/O 操作处理方法。

`globalmem` 和 `globalfifo` 驱动与真实项目中看到的驱动有一些不同,第 12 章详细讲解 Linux 设备驱动的工程化问题,让读者了解真实的驱动要考虑的诸多问题。

第 3 篇(第 13~21 章)深刻剖析复杂设备驱动的体系架构,每一章都给出了具体的实例,涉及的设备包括块设备、终端设备、I<sup>2</sup>C 适配器与 I<sup>2</sup>C 设备、网络设备、PCI 设备、USB 主机控制器、USB 设备、UDC、`gadget`、LCD 设备、Flash 设备等。本篇的讲解抽象与具体相结合,先以模板的形式给出各种设备驱动的设计框架,然后用具体实例设备的驱动填充对应的模板。

第 4 篇(第 22~23 章)详细讲解了 Linux 设备驱动和内核的调试和移植方法。

第 22 章讲解了 Linux 设备驱动的开发环境构建以及借助 `printk`、`oops`、`/proc`、`strace`、仿真器进行驱动调试的方法,最后介绍了 Linux 的性能调优工具。

第 23 章讲解了开发可移植驱动程序以及借助芯片范例程序、`demo` 板驱动和其他操作系统驱动等现成代码进行 Linux 驱动快速移植的方法,最后介绍了如何在一块新的 SoC 和电路板上构建 Linux。

本书的结构及内容参见附图。

最后,再次对广大读者以及所有为本书提出过宝贵意见、为本书的诞生奉献过力量的人们表示最诚挚的谢意!读者朋友可继续通过本书专用网址 <http://www.linuxdriver.cn> 与作者和编辑团队进行交流。

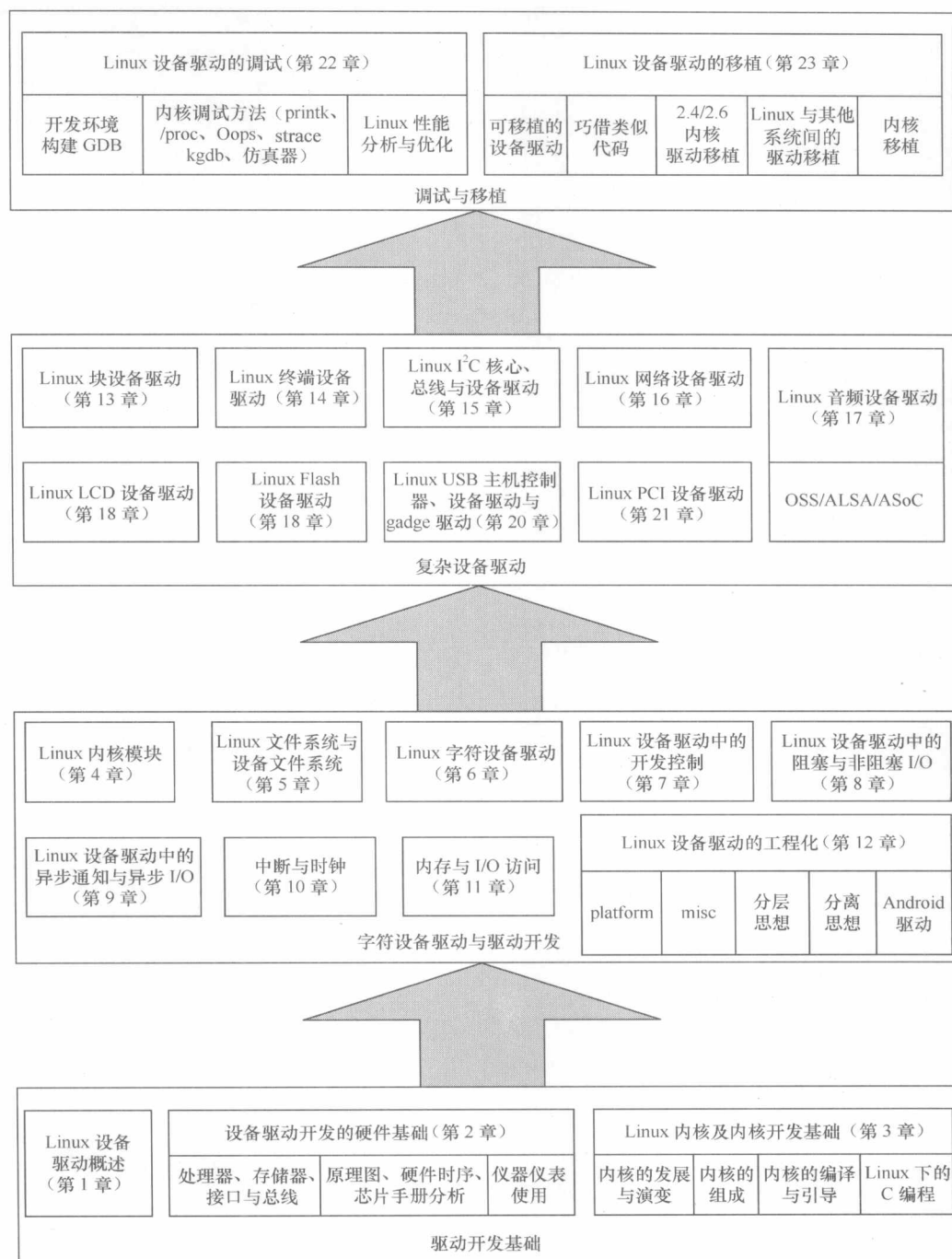
本书服务 QQ: 1275822672

服务 E-mail: [book@Linuxdriver.cn](mailto:book@Linuxdriver.cn)

读者可以邮件咨询索取相关资料

宋宝华

2010 年 6 月于上海浦东



# 目 录

## 第 1 篇 Linux 设备驱动入门

|  |    |
|--|----|
| <b>第 1 章 Linux 设备驱动概述及开发环境构建</b> ..... | 2  |
| 1.1 设备驱动的作用 .....                      | 3  |
| 1.2 无操作系统时的设备驱动 .....                  | 3  |
| 1.3 有操作系统时的设备驱动 .....                  | 5  |
| 1.4 Linux 设备驱动 .....                   | 6  |
| 1.4.1 设备的分类及特点 .....                   | 6  |
| 1.4.2 Linux 设备驱动与整个软硬件系统的关系 .....      | 7  |
| 1.4.3 Linux 设备驱动的重点、难点 .....           | 8  |
| 1.5 Linux 设备驱动开发环境构建 .....             | 8  |
| 1.5.1 PC 上的 Linux 环境 .....             | 8  |
| 1.5.2 LDD6410 开发板 .....                | 11 |
| 1.5.3 工具链安装 .....                      | 13 |
| 1.5.4 主机端 nfs 和 tftp 服务安装 .....        | 14 |
| 1.5.5 源代码阅读和编辑 .....                   | 14 |
| 1.6 设备驱动 Hello World: LED 驱动 .....     | 15 |
| 1.6.1 无操作系统时的 LED 驱动 .....             | 15 |
| 1.6.2 Linux 下的 LED 驱动 .....            | 16 |
| 1.7 全书结构 .....                         | 19 |
| <b>第 2 章 驱动设计的硬件基础</b> .....           | 21 |
| 2.1 处理器 .....                          | 22 |
| 2.1.1 通用处理器 .....                      | 22 |
| 2.1.2 数字信号处理器 .....                    | 23 |
| 2.2 存储器 .....                          | 25 |
| 2.3 接口与总线 .....                        | 29 |
| 2.3.1 串口 .....                         | 29 |



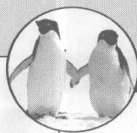
- 2.3.2 I<sup>2</sup>C ..... 30
- 2.3.3 USB ..... 31
- 2.3.4 以太网接口 ..... 33
- 2.3.5 ISA ..... 34
- 2.3.6 PCI 和 cPCI ..... 35
- 2.4 CPLD 和 FPGA ..... 38
- 2.5 原理图分析 ..... 41
  - 2.5.1 原理图分析的内容 ..... 41
  - 2.5.2 原理图的分析方法 ..... 41
- 2.6 硬件时序分析 ..... 43
  - 2.6.1 时序分析的概念 ..... 43
  - 2.6.2 典型硬件时序 ..... 44
- 2.7 芯片手册阅读方法 ..... 45
- 2.8 仪器仪表使用 ..... 48
  - 2.8.1 万用表 ..... 48
  - 2.8.2 示波器 ..... 48
  - 2.8.3 逻辑分析仪 ..... 50
- 2.9 总结 ..... 52
- 第 3 章 Linux 内核及内核编程 ..... 53**
  - 3.1 Linux 内核的发展与演变 ..... 54
  - 3.2 Linux 2.6 内核的特点 ..... 55
  - 3.3 Linux 内核的组成 ..... 56
    - 3.3.1 Linux 内核源代码目录结构 ..... 56
    - 3.3.2 Linux 内核的组成部分 ..... 57
    - 3.3.3 Linux 内核空间与用户空间 ..... 60
  - 3.4 Linux 内核的编译及加载 ..... 60
    - 3.4.1 Linux 内核的编译 ..... 60
    - 3.4.2 Kconfig 和 Makefile ..... 62
    - 3.4.3 Linux 内核的引导 ..... 69
  - 3.5 Linux 下的 C 编程特点 ..... 71
    - 3.5.1 Linux 编码风格 ..... 71
    - 3.5.2 GNU C 与 ANSI C ..... 73
    - 3.5.3 do { } while(0) ..... 77



|                  |    |
|------------------|----|
| 3.5.4 goto ..... | 78 |
| 3.6 总结 .....     | 79 |

## 第 2 篇 Linux 设备驱动核心理论

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>第 4 章 Linux 内核模块</b> .....        | <b>82</b> |
| 4.1 Linux 内核模块简介 .....               | 83        |
| 4.2 Linux 内核模块程序结构 .....             | 85        |
| 4.3 模块加载函数 .....                     | 85        |
| 4.4 模块卸载函数 .....                     | 86        |
| 4.5 模块参数 .....                       | 87        |
| 4.6 导出符号 .....                       | 88        |
| 4.7 模块声明与描述 .....                    | 89        |
| 4.8 模块的使用计数 .....                    | 89        |
| 4.9 模块的编译 .....                      | 90        |
| 4.10 使用模块绕过 GPL .....                | 91        |
| 4.11 总结 .....                        | 91        |
| <b>第 5 章 Linux 文件系统与设备文件系统</b> ..... | <b>92</b> |
| 5.1 Linux 文件操作 .....                 | 93        |
| 5.1.1 文件操作系统调用 .....                 | 93        |
| 5.1.2 C 库文件操作 .....                  | 95        |
| 5.2 Linux 文件系统 .....                 | 97        |
| 5.2.1 Linux 文件系统目录结构 .....           | 97        |
| 5.2.2 Linux 文件系统与设备驱动 .....          | 98        |
| 5.3 devfs 设备文件系统 .....               | 101       |
| 5.4 udev 设备文件系统 .....                | 102       |
| 5.4.1 udev 与 devfs 的区别 .....         | 102       |
| 5.4.2 sysfs 文件系统与 Linux 设备模型 .....   | 104       |
| 5.4.3 udev 的组成 .....                 | 110       |
| 5.4.4 udev 规则文件 .....                | 111       |
| 5.4.5 创建和配置 mdev .....               | 113       |
| 5.5 LDD6410 的 SD 和 NAND 文件系统 .....   | 114       |



- 5.6 总结.....116
- 第6章 字符设备驱动.....118
  - 6.1 Linux 字符设备驱动结构.....119
    - 6.1.1 cdev 结构体.....119
    - 6.1.2 分配和释放设备号.....120
    - 6.1.3 file\_operations 结构体.....120
    - 6.1.4 Linux 字符设备驱动的组成.....122
  - 6.2 globalmem 虚拟设备实例描述.....124
  - 6.3 globalmem 设备驱动.....125
    - 6.3.1 头文件、宏及设备结构体.....125
    - 6.3.2 加载与卸载设备驱动.....126
    - 6.3.3 读写函数.....127
    - 6.3.4 seek 函数.....128
    - 6.3.5 ioctl 函数.....129
    - 6.3.6 使用文件私有数据.....130
  - 6.4 globalmem 驱动在用户空间的验证.....136
  - 6.5 总结.....138
- 第7章 Linux 设备驱动中的并发控制.....139
  - 7.1 并发与竞态.....140
  - 7.2 中断屏蔽.....141
  - 7.3 原子操作.....142
    - 7.3.1 整型原子操作.....142
    - 7.3.2 位原子操作.....142
  - 7.4 自旋锁.....143
    - 7.4.1 自旋锁的使用.....143
    - 7.4.2 读写自旋锁.....145
    - 7.4.3 顺序锁.....147
    - 7.4.4 读-拷贝-更新.....148
  - 7.5 信号量.....152
    - 7.5.1 信号量的使用.....152
    - 7.5.2 信号量用于同步.....154

|              |                                      |            |
|--------------|--------------------------------------|------------|
| 7.5.3        | 完成量用于同步 .....                        | 154        |
| 7.5.4        | 自旋锁 vs 信号量 .....                     | 155        |
| 7.5.5        | 读写信号量 .....                          | 155        |
| 7.6          | 互斥体 .....                            | 156        |
| 7.7          | 增加并发控制后的 globalmem 驱动 .....          | 157        |
| 7.8          | 总结 .....                             | 160        |
| <b>第 8 章</b> | <b>Linux 设备驱动中的阻塞与非阻塞 I/O</b> .....  | <b>161</b> |
| 8.1          | 阻塞与非阻塞 I/O .....                     | 162        |
| 8.1.1        | 等待队列 .....                           | 162        |
| 8.1.2        | 支持阻塞操作的 globalfifo 设备驱动 .....        | 166        |
| 8.1.3        | 在用户空间验证 globalfifo 的读写 .....         | 171        |
| 8.2          | 轮询操作 .....                           | 172        |
| 8.2.1        | 轮询的概念与作用 .....                       | 172        |
| 8.2.2        | 应用程序中的轮询编程 .....                     | 172        |
| 8.2.3        | 设备驱动中的轮询编程 .....                     | 172        |
| 8.3          | 支持轮询操作的 globalfifo 驱动 .....          | 173        |
| 8.3.1        | 在 globalfifo 驱动中增加轮询操作 .....         | 173        |
| 8.3.2        | 在用户空间验证 globalfifo 设备的轮询 .....       | 174        |
| 8.4          | 总结 .....                             | 175        |
| <b>第 9 章</b> | <b>Linux 设备驱动中的异步通知与异步 I/O</b> ..... | <b>176</b> |
| 9.1          | 异步通知的概念与作用 .....                     | 177        |
| 9.2          | Linux 异步通知编程 .....                   | 177        |
| 9.2.1        | Linux 信号 .....                       | 177        |
| 9.2.2        | 信号的接收 .....                          | 179        |
| 9.2.3        | 信号的释放 .....                          | 180        |
| 9.3          | 支持异步通知的 globalfifo 驱动 .....          | 182        |
| 9.3.1        | 在 globalfifo 驱动中增加异步通知 .....         | 182        |
| 9.3.2        | 在用户空间验证 globalfifo 的异步通知 .....       | 184        |
| 9.4          | Linux 2.6 异步 I/O .....               | 185        |
| 9.4.1        | AIO 概念与 GNU C 库函数 .....              | 185        |
| 9.4.2        | 使用信号作为 AIO 的通知 .....                 | 188        |
| 9.4.3        | 使用回调函数作为 AIO 的通知 .....               | 189        |



|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 9.4.4         | AIO 与设备驱动                | 190        |
| 9.5           | 总结                       | 192        |
| <b>第 10 章</b> | <b>中断与时钟</b>             | <b>193</b> |
| 10.1          | 中断与定时器                   | 194        |
| 10.2          | Linux 中断处理程序架构           | 195        |
| 10.3          | Linux 中断编程               | 196        |
| 10.3.1        | 申请和释放中断                  | 196        |
| 10.3.2        | 使能和屏蔽中断                  | 197        |
| 10.3.3        | 底半部机制                    | 197        |
| 10.3.4        | 实例: S3C6410 实时钟中断        | 200        |
| 10.4          | 中断共享                     | 202        |
| 10.5          | 内核定时器                    | 203        |
| 10.5.1        | 内核定时器编程                  | 203        |
| 10.5.2        | 内核中延迟的工作 delayed_work    | 205        |
| 10.5.3        | 实例: 秒字符设备                | 206        |
| 10.6          | 内核延时                     | 210        |
| 10.6.1        | 短延迟                      | 210        |
| 10.6.2        | 长延迟                      | 210        |
| 10.6.3        | 睡着延迟                     | 211        |
| 10.7          | 总结                       | 212        |
| <b>第 11 章</b> | <b>内存与 I/O 访问</b>        | <b>213</b> |
| 11.1          | CPU 与内存和 I/O             | 214        |
| 11.1.1        | 内存空间与 I/O 空间             | 214        |
| 11.1.2        | 内存管理单元 MMU               | 215        |
| 11.2          | Linux 内存管理               | 218        |
| 11.3          | 内存存取                     | 220        |
| 11.3.1        | 用户空间内存动态申请               | 220        |
| 11.3.2        | 内核空间内存动态申请               | 221        |
| 11.3.3        | 虚拟地址与物理地址关系              | 224        |
| 11.4          | 设备 I/O 端口和 I/O 内存的访问     | 225        |
| 11.4.1        | Linux I/O 端口和 I/O 内存访问接口 | 225        |
| 11.4.2        | 申请与释放设备 I/O 端口和 I/O 内存   | 226        |

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 11.4.3        | 设备 I/O 端口和 I/O 内存访问流程       | 227        |
| 11.4.4        | 将设备地址映射到用户空间                | 228        |
| 11.5          | I/O 内存静态映射                  | 233        |
| 11.6          | DMA                         | 236        |
| 11.6.1        | DMA 与 Cache 一致性             | 236        |
| 11.6.2        | Linux 下的 DMA 编程             | 237        |
| 11.7          | 总结                          | 241        |
| <b>第 12 章</b> | <b>工程中的 Linux 设备驱动</b>      | <b>242</b> |
| 12.1          | platform 设备驱动               | 243        |
| 12.1.1        | platform 总线、设备与驱动           | 243        |
| 12.1.2        | 将 globalfifo 作为 platform 设备 | 244        |
| 12.1.3        | platform 设备资源和数据            | 246        |
| 12.2          | 设备驱动的分层思想                   | 248        |
| 12.2.1        | 设备驱动核心层和例化                  | 248        |
| 12.2.2        | 输入设备驱动                      | 249        |
| 12.2.3        | RTC 设备驱动                    | 254        |
| 12.3          | 主机驱动与外设驱动分离思想               | 255        |
| 12.3.1        | 主机、外设驱动分离的意义                | 255        |
| 12.3.2        | Linux SPI 主机和设备驱动           | 256        |
| 12.4          | 设备驱动中的电源管理                  | 260        |
| 12.5          | misc 设备驱动                   | 262        |
| 12.6          | 基于 sysfs 的设备驱动              | 263        |
| 12.7          | Linux 设备驱动的固件加载             | 265        |
| 12.8          | Android 设备驱动                | 266        |
| 12.9          | 总结                          | 269        |

### 第 3 篇 Linux 设备驱动实例

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| <b>第 13 章</b> | <b>Linux 块设备驱动</b>          | <b>272</b> |
| 13.1          | 块设备的 I/O 操作特点               | 273        |
| 13.2          | Linux 块设备驱动结构               | 273        |
| 13.2.1        | block_device_operations 结构体 | 273        |
| 13.2.2        | gendisk 结构体                 | 274        |





|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| 13.2.3        | request 与 bio 结构体                            | 276        |
| 13.2.4        | 块设备驱动注册与注销                                   | 285        |
| 13.3          | Linux 块设备驱动的模块加载与卸载                          | 286        |
| 13.4          | 块设备的打开与释放                                    | 288        |
| 13.5          | 块设备驱动的 ioctl 函数                              | 288        |
| 13.6          | 块设备驱动的 I/O 请求处理                              | 289        |
| 13.6.1        | 使用请求队列                                       | 289        |
| 13.6.2        | 不使用请求队列                                      | 291        |
| 13.7          | 实例 1: vmem_disk 驱动                           | 292        |
| 13.7.1        | vmem_disk 的硬件原理                              | 292        |
| 13.7.2        | vmem_disk 驱动模块的加载与卸载                         | 293        |
| 13.7.3        | vmem_disk 设备驱动 block_device_operations 及成员函数 | 296        |
| 13.7.4        | vmem_disk I/O 请求处理                           | 298        |
| 13.8          | 实例 2: IDE 硬盘设备驱动                             | 300        |
| 13.9          | 总结   | 303        |
| <b>第 14 章</b> | <b>Linux 终端设备驱动</b>                          | <b>304</b> |
| 14.1          | 终端设备   | 305        |
| 14.2          | 终端设备驱动结构                                     | 307        |
| 14.3          | 终端设备驱动初始化与释放                                 | 311        |
| 14.3.1        | 模块加载与卸载函数                                    | 311        |
| 14.3.2        | 打开与关闭函数                                      | 312        |
| 14.4          | 数据发送和接收                                      | 313        |
| 14.5          | TTY 线路设置                                     | 316        |
| 14.5.1        | 线路设置用户空间接口                                   | 316        |
| 14.5.2        | tty 驱动 set_termios 函数                        | 317        |
| 14.5.3        | tty 驱动的 tiocmget 和 tiocmset 函数               | 318        |
| 14.5.4        | tty 驱动 ioctl 函数                              | 319        |
| 14.6          | UART 设备驱动                                    | 320        |
| 14.7          | printk 和 early_printk console 驱动             | 325        |
| 14.8          | 实例: S3C6410 串口与 console 驱动                   | 328        |
| 14.8.1        | S3C6410 串口硬件描述                               | 328        |
| 14.8.2        | S3C6410 串口 UART 驱动                           | 330        |
| 14.8.3        | S3C6410 串口 console 驱动                        | 331        |

|   |            |
|---|------------|
| 14.9 总结 .....   | 332        |
| <b>第 15 章 Linux 的 I<sup>2</sup>C 核心、总线与设备驱动 .....</b> | <b>333</b> |
| 15.1 Linux 的 I <sup>2</sup> C 体系结构 .....              | 334        |
| 15.2 Linux I <sup>2</sup> C 核心 .....                  | 339        |
| 15.3 Linux I <sup>2</sup> C 总线驱动 .....                | 341        |
| 15.3.1 I <sup>2</sup> C 适配器驱动加载与卸载 .....              | 341        |
| 15.3.2 I <sup>2</sup> C 总线通信方法 .....                  | 342        |
| 15.4 Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动 .....                | 344        |
| 15.4.1 Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动的模块加载与卸载 .....      | 344        |
| 15.4.2 Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动的数据传输 .....         | 344        |
| 15.4.3 Linux 的 i2c-dev.c 文件分析 .....                   | 345        |
| 15.5 S3C6410 I <sup>2</sup> C 总线驱动实例 .....            | 349        |
| 15.5.1 S3C6410 I <sup>2</sup> C 控制器硬件描述 .....         | 349        |
| 15.5.2 S3C6410 I <sup>2</sup> C 总线驱动总体分析 .....        | 349        |
| 15.5.3 S3C6410 I <sup>2</sup> C 适配器驱动的模块加载与卸载 .....   | 350        |
| 15.5.4 S3C6410 I <sup>2</sup> C 总线通信方法 .....          | 354        |
| 15.6 AT24XX EEPROM 的 I <sup>2</sup> C 设备驱动实例 .....    | 359        |
| 15.7 总结 .....   | 362        |
| <b>第 16 章 Linux 网络设备驱动 .....</b>                      | <b>363</b> |
| 16.1 Linux 网络设备驱动的结构 .....                            | 364        |
| 16.1.1 网络协议接口层 .....                                  | 364        |
| 16.1.2 网络设备接口层 .....                                  | 366        |
| 16.1.3 设备驱动功能层 .....                                  | 369        |
| 16.1.4 网络设备与媒介层 .....                                 | 369        |
| 16.2 网络设备驱动的注册与注销 .....                               | 369        |
| 16.3 网络设备的初始化 .....                                   | 371        |
| 16.4 网络设备的打开与释放 .....                                 | 372        |
| 16.5 数据发送流程 .....                                     | 373        |
| 16.6 数据接收流程 .....                                     | 374        |
| 16.7 网络连接状态 .....                                     | 377        |
| 16.8 参数设置和统计数据 .....                                  | 378        |



|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 16.9          | DM9000 网卡设备驱动实例          | 381        |
| 16.9.1        | DM9000 网卡硬件描述            | 381        |
| 16.9.2        | DM9000 网卡驱动设计分析          | 383        |
| 16.10         | 总结                       | 387        |
| <b>第 17 章</b> | <b>Linux 音频设备驱动</b>      | <b>388</b> |
| 17.1          | 数字音频设备                   | 389        |
| 17.2          | 音频设备硬件接口                 | 390        |
| 17.2.1        | PCM 接口                   | 390        |
| 17.2.2        | IIS 接口                   | 390        |
| 17.2.3        | AC'97 接口                 | 390        |
| 17.3          | Linux OSS 音频设备驱动         | 391        |
| 17.3.1        | OSS 驱动的组成                | 391        |
| 17.3.2        | mixer 接口                 | 392        |
| 17.3.3        | dsp 接口                   | 393        |
| 17.3.4        | OSS 用户空间编程               | 394        |
| 17.4          | Linux ALSA 音频设备驱动        | 399        |
| 17.4.1        | ALSA 的组成                 | 399        |
| 17.4.2        | card 和组件管理               | 400        |
| 17.4.3        | PCM 设备                   | 402        |
| 17.4.4        | 控制接口                     | 412        |
| 17.4.5        | AC97 API 接口              | 416        |
| 17.4.6        | ALSA 用户空间编程              | 418        |
| 17.5          | Linux ASoC 音频设备驱动        | 423        |
| 17.5.1        | ASoC 驱动的组成               | 423        |
| 17.5.2        | ASoC Codec 驱动            | 423        |
| 17.5.3        | ASoC 平台驱动                | 426        |
| 17.5.4        | ASoC 板驱动                 | 429        |
| 17.6          | S3C6410+WM9714 ASoC 驱动实例 | 430        |
| 17.7          | 总结                       | 439        |
| <b>第 18 章</b> | <b>LCD 设备驱动</b>          | <b>440</b> |
| 18.1          | LCD 硬件原理                 | 441        |
| 18.2          | 帧缓冲                      | 443        |

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| 18.2.1        | 帧缓冲的概念                                     | 443        |
| 18.2.2        | 显示缓冲区与显示点                                  | 443        |
| 18.2.3        | Linux 帧缓冲相关数据结构与函数                         | 444        |
| 18.3          | Linux 帧缓冲设备驱动结构                            | 450        |
| 18.4          | 帧缓冲设备驱动的模块加载与卸载函数                          | 450        |
| 18.5          | 帧缓冲设备显示缓冲区的申请与释放                           | 452        |
| 18.6          | 帧缓冲设备的参数设置                                 | 453        |
| 18.6.1        | 定时参数                                       | 453        |
| 18.6.2        | 像素时钟                                       | 454        |
| 18.6.3        | 颜色位域                                       | 454        |
| 18.6.4        | 固定参数                                       | 455        |
| 18.7          | 帧缓冲设备驱动的 fb_ops 成员函数                       | 455        |
| 18.8          | LCD 设备驱动的读写、mmap 和 ioctl 函数                | 456        |
| 18.9          | 帧缓冲设备的用户空间访问                               | 461        |
| 18.10         | Linux 图形用户界面                               | 463        |
| 18.10.1       | Qt-X11/QtEmbedded/Qtopia                   | 463        |
| 18.10.2       | Microwindows/Nano-X                        | 468        |
| 18.10.3       | MiniGUI                                    | 470        |
| 18.10.4       | Android                                    | 472        |
| 18.11         | 实例: S3C6410 LCD 设备驱动                       | 473        |
| 18.12         | 总结   | 478        |
| <b>第 19 章</b> | <b>Flash 设备驱动</b>                          | <b>479</b> |
| 19.1          | Linux Flash 驱动结构                           | 480        |
| 19.1.1        | Linux MTD 系统层次                             | 480        |
| 19.1.2        | Linux MTD 系统接口                             | 480        |
| 19.1.3        | MTD 用户空间编程                                 | 485        |
| 19.2          | NOR Flash 驱动                               | 488        |
| 19.3          | NAND Flash 驱动                              | 491        |
| 19.4          | NOR Flash 驱动实例: S3C6410 外围的 NOR Flash 驱动   | 496        |
| 19.5          | NAND Flash 驱动实例: S3C6410 外围的 NAND Flash 驱动 | 497        |
| 19.5.1        | S3C6410 NAND 控制器硬件描述                       | 497        |
| 19.5.2        | S3C6410 nand_chip 初始化与 NAND 探测             | 498        |
| 19.6          | Flash 文件系统的建立                              | 500        |