

# LINUX



- ❖ 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

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

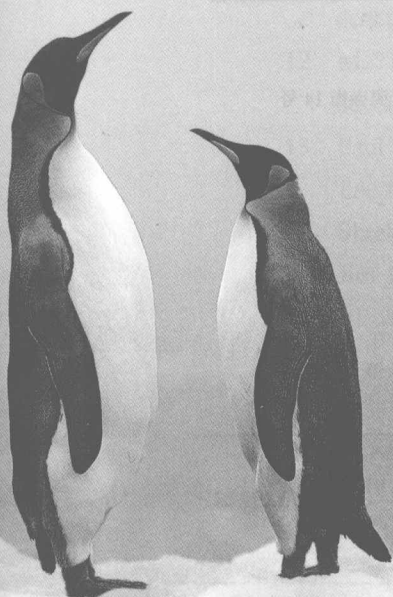
# LINUX

## 设备驱动 开发详解

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. —北京: 人民邮电出版社, 2008.2  
ISBN 978-7-115-17239-6

I. L… II. 宋… III. Linux 操作系统 IV. TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 180648 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

- ◆ 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>  
北京鸿佳印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 44  
字数: 1 101 千字 2008 年 2 月第 1 版  
印数: 1-5 000 册 2008 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17239-6/TP

定价: 89.00 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

## 背景

Linux 设备驱动开发是 Linux 开发的热门领域，是所有 Linux 应用系统中不可缺少的组成部分。但是 Linux 设备驱动的开发门槛相对较高，主要原因如下：

首先，编写 Linux 设备驱动必须牢固掌握自旋锁、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/非阻塞、I/O 等大量理论知识；

其次，由于近年来 Linux 内核在驱动方面更偏向于提供设备驱动的框架（framework）而非单个设备驱动，考虑到框架更强的兼容性，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 设备等驱动的体系结构都变得愈发复杂，框架成为 Linux 设备驱动学习上的绊脚石。

因此，读者极需这样一本书：它以简单易懂的方式讲解 Linux 设备驱动中涉及的复杂理论，并对各种复杂设备的驱动框架进行全面剖析，引导读者走出由错综复杂的函数和数据结构组成的框架迷宫，这就是本书编写的初衷。

## 本书特点

目前市面上讲解 Linux 设备驱动的书并不多，而且多是从一个较小的视角对驱动中的某一个方面进行简单的解释，本书全面而详细地讲解了 Linux 设备驱动开发中涉及的理论以及多种设备驱动的框架，具有以下特点。

(1) 本书基于 Linux 2.6 内核进行讲解，为便于移植，本书还对 Linux 2.4 和 2.6 内核在驱动开发方面的差异进行了对比。

(2) 本书的实例背景非常简单，使读者能将注意力完全集中于驱动本身而不陷于复杂的实例。最简单的字符设备 `globalmem` 和 `globalfifo` 将解放读者的思路。

(3) 本书将字符设备、块设备、TTY 设备、I<sup>2</sup>C 设备、LCD 设备、Flash 设备、网络设备、音频设备、USB 设备、PCI 设备等复杂设备驱动的框架作为核心内容。

(4) 本书完全从工程实际出发，具有很强的可操作性。书中对 Linux 设备驱动开发环境建设、驱动的调试、驱动的移植等进行了讲解。在讲解驱动的同时，本书还给出了用户空间的验证方法，以便读者理清 Linux 设备驱动与上层应用的关系。

(5) 本书内容虽集中于 Linux 设备驱动，但并不局限于 Linux 设备驱动，还将 Linux 设备驱动与无操作系统下的设备驱动及其他操作系统（主要是 VxWorks）的驱动进行了对比分析，以便读者以更宏观的视角看待 Linux 设备驱动。

阅读完本书，读者将具备完全自主地从头到尾开发 Linux 设备驱动的能力，而不是只能对现有的驱动进行简单修改。



## 本书的内容简介

本书共分 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。

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 设备驱动开发的硬件基础。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、字符设备驱动及设备驱动设计中涉及的并发控制、同步等问题。

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，各章还讲解了并发控制、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。

第 12 章详细讲解 Linux 字符设备驱动的多个综合实例，将 4~11 章的所述知识在具体设备驱动中进行实践。

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 设备、LCD 设备、Flash 设备等。本篇的讲解中抽象与具体相结合，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。

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。

## 感谢

首先要感谢我的父母、兄长和姐姐，正是他们的无私奉献，才得以使我从一个贫瘠的小镇走向广阔的发展空间，从事前沿技术的研发；其次要感谢我的导师杨平研究员，他总是毫无保留地将他的研究心得传授给我；同时，也要感谢许多在技术上给予我指导的老师，他们是何昭然、卢幼宁、李鹰、冯启德等；再次要感谢无数在学习和生活中给予我帮助的朋友，他们是何昭然、卢鹏、黄燕、李杨、方毅伟、贾建祥、王文祺、吴国举、刘仕杰、关国华、钟磊、张之华、贺亚峰、姜静、张家旺、章广成、余文君、梅景全等；最后，本书不可能被“空降”，如果没有世界上成千上万从事 Linux 驱动开发的前辈们提供的大量参考代码和技术资料，本书便会成为无本之木，无源之水，在此感谢你们！

本书内容目录

### 联系我们

由于本书内容较多，编写时间仓促，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请广大读者提出宝贵意见。本书责任编辑的联系方式是 [huangyan@ptpress.com.cn](mailto:huangyan@ptpress.com.cn)，欢迎来信交流。本书的相关资料和嵌入式系统相关资料、公开视频，请参见 <http://www.farsight.com.cn/download>。

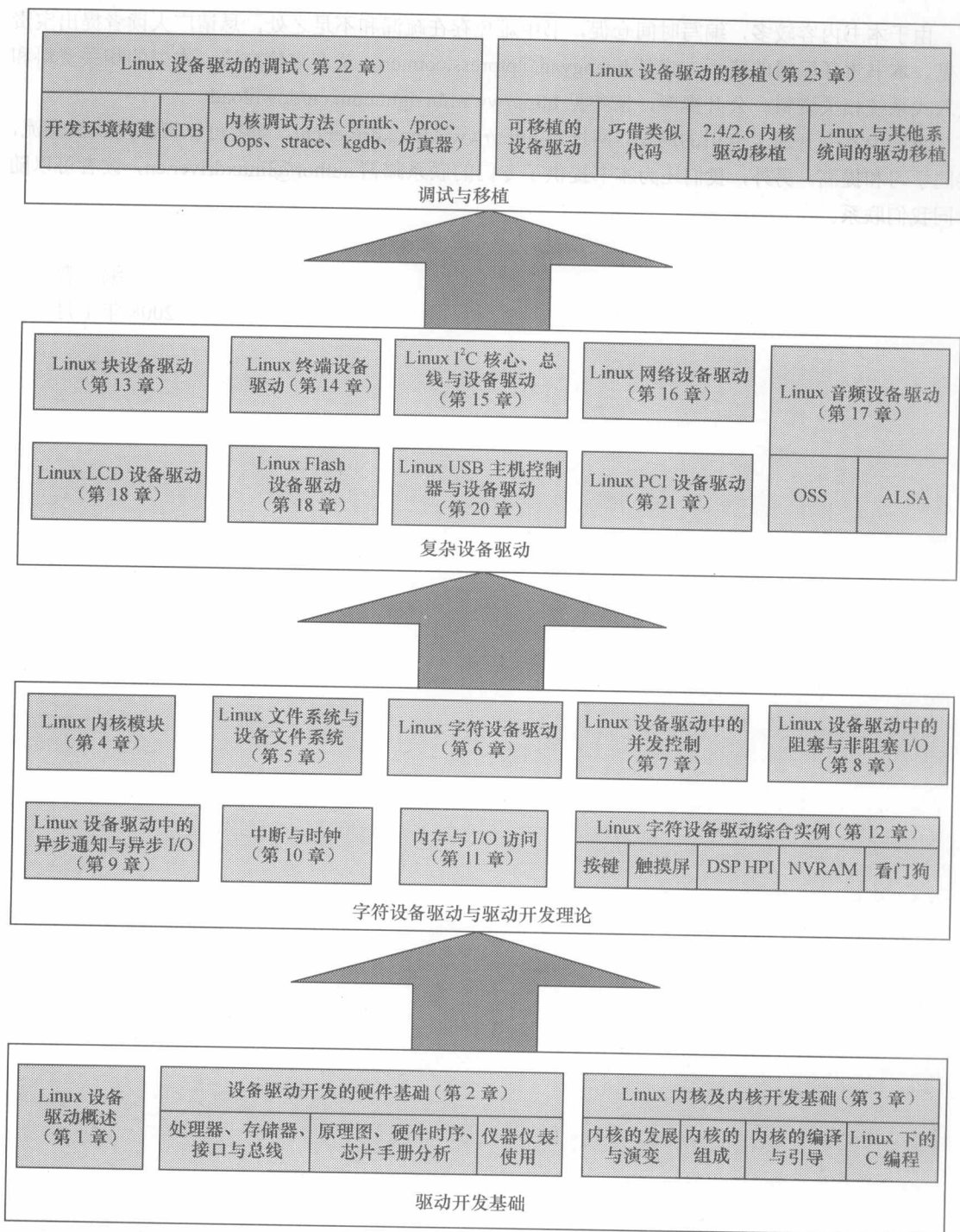
我们为本书开通了专用的网站，网址是 <http://www.linuxdriver.cn/>，读者可以直接同我们交流，共同学习和提高。另外，我们还为本书提供了专门的联系邮箱 [author@linuxdriver.cn](mailto:author@linuxdriver.cn)，读者可以随时同我们联系。

编者  
2008年1月



## 本书内容结构

IT 技术



# 目 录

## 第 1 篇 Linux 设备驱动入门

<b>第 1 章 设备驱动概述</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 编写 Linux 设备驱动的技术基础 .....	8
1.4.4 Linux 设备驱动的学习方法 .....	8
1.5 设备驱动的 Hello World: LED 驱动 .....	11
1.5.1 无操作系统时的 LED 驱动 .....	11
1.5.2 Linux 系统下的 LED 驱动 .....	12
<b>第 2 章 驱动设计的硬件基础</b> .....	16
2.1 处理器 .....	17
2.1.1 通用处理器 .....	17
2.1.2 数字信号处理器 .....	18
2.2 存储器 .....	20
2.3 接口与总线 .....	24
2.3.1 串口 .....	24
2.3.2 I <sup>2</sup> C 总线 .....	25
2.3.3 USB .....	26
2.3.4 以太网接口 .....	27
2.3.5 ISA 总线 .....	28
2.3.6 PCI 和 cPCI .....	29
2.4 CPLD 和 FPGA .....	33
2.5 原理图分析 .....	35
2.5.1 原理图分析的内容 .....	35
2.5.2 原理图的分析方法 .....	36
2.6 硬件时序分析 .....	37



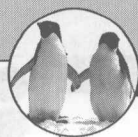


2.6.1	时序分析的概念	37
2.6.2	典型硬件时序	38
2.7	仪器仪表使用	39
2.7.1	万用表	39
2.7.2	示波器	39
2.7.3	逻辑分析仪	41
2.8	总结	42
<b>第3章</b>	<b>Linux 内核及内核编程</b>	<b>43</b>
3.1	Linux 内核的发展与演变	44
3.2	Linux 2.6 内核的特点	45
3.3	Linux 内核的组成	46
3.3.1	Linux 内核源代码目录结构	46
3.3.2	Linux 内核的组成部分	47
3.3.3	Linux 内核空间与用户空间	49
3.4	Linux 内核的编译及加载	50
3.4.1	Linux 内核的编译	50
3.4.2	Kconfig 和 Makefile	57
3.4.3	Linux 内核的引导	63
3.5	Linux 下的 C 编程	65
3.5.1	Linux 程序命名习惯	65
3.5.2	GNU C 与 ANSI C	66
3.5.3	do { } while(0)	70
3.5.4	goto	71
3.6	总结	71

## 第 2 篇 Linux 设备驱动核心理论

<b>第4章</b>	<b>Linux 内核模块</b>	<b>74</b>
4.1	Linux 内核模块简介	75
4.2	Linux 内核模块的程序结构	76
4.3	模块加载函数	77
4.4	模块卸载函数	78
4.5	模块参数	78
4.6	导出符号	80
4.7	模块声明与描述	81
4.8	模块的使用计数	81
4.9	模块的编译	82
4.10	模块与 GPL	83
4.11	总结	84

<b>第 5 章 Linux 文件系统与设备文件系统</b> .....	85
5.1 Linux 文件操作.....	86
5.1.1 文件操作的相关系统调用.....	86
5.1.2 C 库函数的文件操作.....	88
5.2 Linux 文件系统.....	90
5.2.1 Linux 文件系统目录结构.....	90
5.2.2 Linux 文件系统与设备驱动.....	91
5.3 devfs 设备文件系统.....	95
5.4 udev 设备文件系统.....	96
5.4.1 udev 与 devfs 的区别.....	96
5.4.2 sysfs 文件系统与 Linux 设备模型.....	96
5.4.3 udev 的组成.....	108
5.4.4 udev 规则文件.....	109
5.4.5 创建和配置 udev.....	111
5.5 总结.....	113
<b>第 6 章 字符设备驱动</b> .....	114
6.1 Linux 字符设备驱动结构.....	115
6.1.1 cdev 结构体.....	115
6.1.2 分配和释放设备号.....	116
6.1.3 file_operations 结构体.....	116
6.1.4 Linux 字符设备驱动的组成.....	118
6.2 globalmem 虚拟设备实例描述.....	121
6.3 globalmem 设备驱动.....	121
6.3.1 头文件、宏及设备结构体.....	121
6.3.2 加载与卸载设备驱动.....	122
6.3.3 读写函数.....	123
6.3.4 seek() 函数.....	124
6.3.5 ioctl() 函数.....	125
6.3.6 使用文件私有数据.....	127
6.4 globalmem 驱动在用户空间的验证.....	133
6.5 总结.....	134
<b>第 7 章 Linux 设备驱动中的并发控制</b> .....	135
7.1 并发与竞态.....	136
7.2 中断屏蔽.....	137
7.3 原子操作.....	137
7.3.1 整型原子操作.....	138
7.3.2 位原子操作.....	138
7.4 自旋锁.....	139



7.4.1	自旋锁的使用	139
7.4.2	读写自旋锁	141
7.4.3	顺序锁	143
7.4.4	读-拷贝-更新	144
7.5	信号量	148
7.5.1	信号量的使用	148
7.5.2	信号量用于同步	150
7.5.3	完成量用于同步	150
7.5.4	自旋锁 vs 信号量	151
7.5.5	读写信号量	152
7.6	互斥体	152
7.7	增加并发控制后的 globalmem 驱动	153
7.8	总结	156
<b>第 8 章</b>	<b>Linux 设备驱动中的阻塞与非阻塞 I/O</b>	<b>157</b>
8.1	阻塞与非阻塞 I/O	158
8.1.1	等待队列	158
8.1.2	支持阻塞操作的 globalfifo 设备驱动	162
8.1.3	在用户空间验证 globalfifo 的读写	167
8.2	轮询操作	167
8.2.1	轮询的概念与作用	167
8.2.2	应用程序中的轮询编程	168
8.2.3	设备驱动中的轮询编程	168
8.3	支持轮询操作的 globalfifo 驱动	169
8.3.1	在 globalfifo 驱动中增加轮询操作	169
8.3.2	在用户空间验证 globalfifo 设备的轮询	170
8.4	总结	171
<b>第 9 章</b>	<b>Linux 设备驱动中的异步通知与异步 I/O</b>	<b>172</b>
9.1	异步通知的概念与作用	173
9.2	Linux 异步通知编程	173
9.2.1	Linux 信号	173
9.2.2	信号的接收	175
9.2.3	信号的释放	176
9.3	支持异步通知的 globalfifo 驱动	178
9.3.1	在 globalfifo 驱动中增加异步通知	178
9.3.2	在用户空间验证 globalfifo 的异步通知	180
9.4	Linux 2.6 异步 I/O	181
9.4.1	AIO 概念与 GNU C 库函数	181
9.4.2	使用信号作为 AIO 的通知	184

9.4.3	使用回调函数作为 AIO 的通知	185
9.4.4	AIO 与设备驱动	186
9.5	总结	188
<b>第 10 章</b>	<b>中断与时钟</b>	<b>189</b>
10.1	中断与定时器	190
10.2	Linux 中断处理程序架构	191
10.3	Linux 中断编程	192
10.3.1	申请和释放中断	192
10.3.2	使能和屏蔽中断	193
10.3.3	底半部机制	193
10.3.4	实例: S3C2410 实时钟中断	196
10.4	中断共享	197
10.5	内核定时器	199
10.5.1	内核定时器编程	199
10.5.2	实例: 秒字符设备	201
10.6	内核延时	205
10.6.1	短延迟	205
10.6.2	长延迟	205
10.6.3	睡着延迟	206
10.7	总结	207
<b>第 11 章</b>	<b>内存与 I/O 访问</b>	<b>208</b>
11.1	CPU 与内存和 I/O	209
11.1.1	内存空间与 I/O 空间	209
11.1.2	内存管理单元 MMU	210
11.2	Linux 内存管理	213
11.3	内存存取	215
11.3.1	用户空间内存动态申请	215
11.3.2	内核空间内存动态申请	215
11.3.3	虚拟地址与物理地址关系	218
11.4	设备 I/O 端口和 I/O 内存的访问	219
11.4.1	Linux I/O 端口和 I/O 内存访问接口	219
11.4.2	申请与释放设备 I/O 端口和 I/O 内存	221
11.4.3	设备 I/O 端口和 I/O 内存访问流程	221
11.4.4	将设备地址映射到用户空间	222
11.5	I/O 内存静态映射	227
11.6	DMA	230
11.6.1	DMA 与 Cache 一致性	230





11.6.2	Linux 下的 DMA 编程	231
11.7	总结	240
<b>第 12 章 Linux 字符设备驱动综合实例</b>		<b>241</b>
12.1	按键的设备驱动	242
12.1.1	按键的硬件原理	242
12.1.2	按键驱动中的数据结构	243
12.1.3	按键驱动的模块加载和卸载函数	244
12.1.4	按键设备驱动中断、定时器处理程序	245
12.1.5	按键设备驱动的打开、释放函数	247
12.1.6	按键设备驱动读函数	247
12.2	触摸屏的设备驱动	248
12.2.1	触摸屏的硬件原理	248
12.2.2	触摸屏设备驱动中数据结构	250
12.2.3	触摸屏驱动中的硬件控制	251
12.2.4	触摸屏驱动模块加载和卸载函数	252
12.2.5	触摸屏驱动中断、定时器处理程序	252
12.2.6	触摸屏设备驱动的打开、释放函数	255
12.2.7	触摸屏设备驱动的读函数	255
12.2.8	触摸屏设备驱动的轮询与异步通知	256
12.2.9	Linux 输入子系统	257
12.3	DSP HPI 的设备驱动	258
12.3.1	HPI 接口的硬件原理	258
12.3.2	HPI 接口设备驱动中数据结构	259
12.3.3	HPI 接口设备驱动的读写函数	260
12.4	NVRAM 设备驱动	261
12.4.1	NVRAM 设备驱动的数据结构	261
12.4.2	NVRAM 设备驱动的模块加载与卸载函数	262
12.4.3	NVRAM 设备驱动读写函数	262
12.4.4	NVRAM 设备驱动的 seek 函数	263
12.5	看门狗设备驱动	264
12.5.1	看门狗硬件原理	264
12.5.2	看门狗驱动中的数据结构	265
12.5.3	看门狗驱动模块的加载和卸载函数	268
12.5.4	看门狗驱动探测和移除函数	269
12.5.5	看门狗驱动的挂起和恢复函数	271
12.5.6	看门狗驱动的打开和释放函数	272
12.5.7	看门狗驱动写函数	274
12.6	总结	274

## 第3篇 Linux 设备驱动实例

<b>第 13 章 Linux 块设备驱动</b> .....	276
13.1 块设备的 I/O 操作特点.....	277
13.2 Linux 块设备驱动结构.....	277
13.2.1 block_device_operations 结构体.....	277
13.2.2 gendisk 结构体.....	278
13.2.3 request 与 bio 结构体.....	280
13.2.4 块设备驱动注册与注销.....	288
13.3 Linux 块设备驱动的模块加载与卸载.....	288
13.4 块设备的打开与释放.....	291
13.5 块设备驱动的 ioctl 函数.....	291
13.6 块设备驱动的 I/O 请求处理.....	292
13.6.1 使用请求队列.....	292
13.6.2 不使用请求队列.....	295
13.7 实例 1: RamDisk 驱动.....	296
13.7.1 RamDisk 的硬件原理.....	296
13.7.2 RamDisk 驱动模块的加载与卸载.....	296
13.7.3 RamDisk 设备驱动 block_device_operations 及成员函数.....	299
13.7.4 RamDisk I/O 请求处理.....	300
13.8 实例 2: IDE 硬盘设备驱动.....	300
13.8.1 IDE 硬盘设备原理.....	300
13.8.2 IDE 硬盘设备驱动的 block_device_operations 及成员函数.....	303
13.8.3 IDE 硬盘设备驱动的 I/O 请求处理.....	304
13.8.4 在内核中增加对新系统 IDE 设备的支持.....	310
13.9 总结.....	313
<b>第 14 章 Linux 终端设备驱动</b> .....	314
14.1 终端设备.....	315
14.2 终端设备驱动结构.....	316
14.3 终端设备驱动的初始化与释放.....	321
14.3.1 模块加载与卸载函数.....	321
14.3.2 打开与关闭函数.....	322
14.4 数据发送和接收.....	323
14.5 tty 线路设置.....	326
14.5.1 线路设置用户空间接口.....	326
14.5.2 tty 驱动的 set_termios 函数.....	327
14.5.3 tty 驱动的 tiocmget 和 tiocmset 函数.....	328
14.5.4 tty 驱动的 ioctl 函数.....	329



14.6	UART 设备驱动	330
14.7	S3C2410 UART 的驱动实例	335
14.7.1	S3C2410 串口硬件描述	335
14.7.2	S3C2410 串口驱动的数据结构	338
14.7.3	S3C2410 串口驱动的初始化与释放	341
14.7.4	S3C2410 串口数据收发	344
14.7.5	S3C2410 串口线路设置	350
14.8	总结	352
<b>第 15 章 Linux 的 I<sup>2</sup>C 核心、总线与设备驱动</b>		<b>353</b>
15.1	Linux 的 I <sup>2</sup> C 体系结构	354
15.2	Linux I <sup>2</sup> C 核心	359
15.3	Linux I <sup>2</sup> C 总线驱动	361
15.3.1	I <sup>2</sup> C 适配器驱动加载与卸载	361
15.3.2	I <sup>2</sup> C 总线通信方法	361
15.4	Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动	363
15.4.1	Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动的模块加载与卸载	364
15.4.2	Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动的 i2c_driver 成员函数	364
15.4.3	Linux I <sup>2</sup> C 设备驱动的文件操作接口	367
15.4.4	Linux 的 i2c-dev.c 文件分析	368
15.5	S3C2410 I <sup>2</sup> C 总线驱动实例	374
15.5.1	S3C2410 I <sup>2</sup> C 控制器硬件描述	374
15.5.2	S3C2410 I <sup>2</sup> C 总线驱动总体分析	374
15.5.3	S3C2410 I <sup>2</sup> C 适配器驱动的模块加载与卸载	375
15.5.4	S3C2410 I <sup>2</sup> C 总线通信方法	378
15.6	SAA7113H 视频 AD 芯片的 I <sup>2</sup> C 设备驱动实例	383
15.6.1	SAA7113H 视频 AD 芯片硬件描述	383
15.6.2	SAA7113H 视频 AD 芯片驱动驱动的模块加载与卸载	384
15.6.3	SAA7113H 设备驱动的 i2c_driver 成员函数	384
15.7	总结	386
<b>第 16 章 Linux 网络设备驱动</b>		<b>387</b>
16.1	Linux 网络设备驱动的结构	388
16.1.1	网络协议接口层	388
16.1.2	网络设备接口层	392
16.1.3	设备驱动功能层	395
16.1.4	网络设备与媒介层	395
16.2	网络设备驱动的注册与注销	395
16.3	网络设备的初始化	397

16.4	网络设备的打开与释放 .....	398
16.5	数据发送流程 .....	399
16.6	数据接收流程 .....	400
16.7	网络连接状态 .....	402
16.8	参数设置和统计数据 .....	404
16.9	CS8900 网卡设备驱动实例 .....	407
16.9.1	CS8900 网卡硬件描述 .....	407
16.9.2	CS8900 网卡驱动设计分析 .....	409
16.9.3	CS8900 网卡注册、初始化与注销 .....	410
16.9.4	CS8900 网卡发送数据流程 .....	415
16.9.5	CS8900 网卡接收数据流程 .....	416
16.10	总结 .....	418
<b>第 17 章</b>	<b>Linux 音频设备驱动</b> .....	<b>419</b>
17.1	数字音频设备 .....	420
17.2	音频设备硬件接口 .....	421
17.2.1	PCM 接口 .....	421
17.2.2	IIS 接口 .....	421
17.2.3	AC97 接口 .....	421
17.3	Linux OSS 音频设备驱动 .....	422
17.3.1	OSS 驱动的组成 .....	422
17.3.2	mixer 接口 .....	423
17.3.3	dsp 接口 .....	424
17.3.4	OSS 用户空间编程 .....	425
17.4	Linux ALSA 音频设备驱动 .....	431
17.4.1	ALSA 的组成 .....	431
17.4.2	card 和组件管理 .....	432
17.4.3	PCM 设备 .....	434
17.4.4	控制接口 .....	444
17.4.5	AC97 API 接口 .....	449
17.4.6	ALSA 用户空间编程 .....	451
17.5	S3C2410+UDA1341 OSS 驱动实例 .....	456
17.5.1	S3C2410 与 UDA1341 接口硬件描述 .....	456
17.5.2	注册 dsp 和 mixer 接口 .....	459
17.5.3	mixer 接口的 I/O 控制函数 .....	460
17.5.4	dsp 接口音频数据传输 .....	462
17.6	SA1100+UDA1341 ALSA 驱动实例 .....	465
17.6.1	card 注册与注销 .....	465
17.6.2	PCM 设备的实现 .....	467
17.6.3	控制接口的实现 .....	472





17.7	PXA255+AC97 ALSA 驱动实例	474
17.8	总结	476
<b>第 18 章 LCD 设备驱动</b>		<b>477</b>
18.1	LCD 硬件原理	478
18.2	帧缓冲	480
18.2.1	帧缓冲的概念	480
18.2.2	显示缓冲区与显示点	480
18.2.3	Linux 帧缓冲相关数据结构与函数	481
18.3	Linux 帧缓冲设备驱动结构	487
18.4	帧缓冲设备驱动的模块加载与卸载函数	487
18.5	帧缓冲设备显示缓冲区的申请与释放	489
18.6	帧缓冲设备的参数设置	490
18.6.1	定时参数	490
18.6.2	像素时钟	491
18.6.3	颜色位域	491
18.6.4	固定参数	491
18.7	帧缓冲设备驱动的 fb_ops 成员函数	491
18.8	LCD 设备驱动的读写、mmap 和 ioctl 函数	493
18.9	帧缓冲设备的用户空间访问	499
18.10	Linux 图形用户界面	504
18.10.1	Qt-X11/QtEmbedded/Qtopia	504
18.10.2	Microwindows/Nano-X	508
18.10.3	MiniGUI	511
18.11	实例：S3C2410 LCD 设备驱动	514
18.11.1	S3C2410 LCD 控制器硬件描述	514
18.11.2	S3C2410 LCD 驱动的模块加载与卸载函数	517
18.11.3	S3C2410 LCD 驱动的探测与移除函数	520
18.11.4	S3C2410 LCD 驱动挂起与恢复函数	524
18.11.5	S3C2410 LCD 驱动的 fb_ops 成员函数	525
18.12	总结	528
<b>第 19 章 Flash 设备驱动</b>		<b>529</b>
19.1	Linux Flash 驱动结构	530
19.1.1	Linux MTD 系统层次	530
19.1.2	Linux MTD 系统接口	530
19.1.3	MTD 用户空间编程	534
19.2	NOR Flash 驱动	538
19.3	NAND Flash 驱动	541