

LINUX

三位韩国专家与作者共同测试、整理的方法与实例



- ❖ 开发实用性设备驱动程序的实例及介绍
- ❖ 轻松易得的Linux内核API函数及其应用方法

设备驱动 开发技术及应用

[韩] 俞永昌 著
[韩] 安润浩 吴才晶 俞明焕 审校
李红姬 李明吉 译

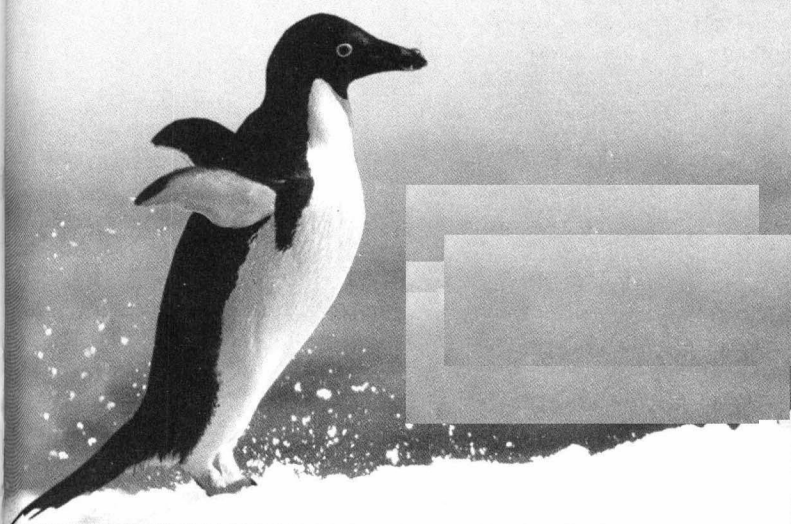


Linux

LINUX

设备驱动 开发技术及应用

[韩] 俞永昌 著
[韩] 安润浩 吴才晶 俞明焕 审校
李红姬 李明吉 译



LINUX

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

Linux设备驱动开发技术及应用 / (韩)俞永昌著;李红姬,李明吉译.—北京:人民邮电出版社,2008.9

ISBN 978-7-115-18122-0

I.L… II.①俞…②李…③李… III.Linux操作系统—程序设计 IV.TP316.89

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第069037号

版 权 声 明

Linux Device Driver by Yoo Young Chang

Copyright © 2004 Hanbit Media, Inc. All rights reserved.

Originally published in Korea by Hanbit Media, Inc.

本书中文简体版由韩国Hanbit Media出版公司授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可,对本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,侵权必究。

Linux 设备驱动开发技术及应用

- ◆ 著 [韩] 俞永昌
- 审 校 [韩] 安润浩 吴才晶 俞明焕
- 译 李红姬 李明吉
- 责任编辑 刘映欣
- ◆ 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
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 43.5
字数: 1 041 千字 2008年9月第1版
印数: 1-4 000 册 2008年9月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2006-1269 号

ISBN 978-7-115-18122-0/TP

定价: 85.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

内 容 提 要

本书着重讲解了Linux设备驱动程序的基本概念，并系统化地介绍了Linux设备驱动程序相关的基础知识和应用。全书以通俗易懂的语言详细阐述了基础性内容，非常有利于读者掌握基本概念并树立Linux驱动程序的开发理念。本书还结合图表及示意图，简单地解释了较为难懂的设备驱动程序。为了帮助读者快速理解书中内容，每个章节的末尾都给出了能够确认运行效果的实例，书中的例子使用了简单的并行口测试环境，还提供了多种源代码。

本书最大的特点是为初学者创造了轻松挑战Linux设备驱动程序的机会。无论是对于刚刚接触Linux驱动程序的初学者还是Linux开发工作者，本书都是一本很好的操作指南。

推 荐 词

就要开始学习“device driver”了，但是究竟要选择什么样的书籍呢？相信大家都有过这样的烦恼。最好最方便的做法当然是直接阅读Linux Device Driver这本著名书籍的英文原版书。然而，语言的障碍比我们想象的严重得多。不仅实际编译方法很难理解，而且已编译的驱动程序是否运行正常也难以确认。然而，拥有本书就不用担心这些问题了。另外，看到书中可测试源代码的实例、精辟的讲解以及强有力的测试环境（一个Clip和两个LED），我不得不惊叹。

——周峰宁 韩国AMT主任研究员

学过嵌入式的韩国人都应该听过“俞永昌”这个名字，本书仅凭这位作者的名气就应受人瞩目。为了帮助读者快速理解内容，各章节的末尾都给出了简单而且能够确认运行效果的实例。另外，除了内核2.4，还包含了2.6版本的API驱动，而通过有效的实例比较两个版本的差异，也是本书的一大亮点。

——吴红钧 韩国MacroWeb S/W开发组研究员

本书着重讲解了Linux设备驱动程序的基本概念，在此过程中并没有倾向于哪个特定领域，且叙述的非常精辟。本书的每一个句子中都凝结了作者的经验技巧，而简单易懂的实例更有助于开发者理解内容。总的来说，这是一部忠实于基础知识的入门教材。

——黄太然 韩国LG电子/情报通信系统研究所前任研究员

本书最大的优点是通过并行口控制了LED，并为初学者创造了轻松挑战Linux设备驱动程序的机遇。另外，本书还结合图表及示意图，简单地解释了公认为难懂的设备驱动程序。在这里，特别向初学者以及未能系统掌握设备驱动的读者推荐本书。

——黄义哲 韩国SimplexInternet公司

无论是刚刚接触Linux驱动程序的初学者还是开发工作者，本书都可称为很好的操作指南。书中的例子使用了简单的并行口测试环境，还提供了多种源代码，这是本书的魅力所在。

——李贤石 韩国MacroWeb公司

本书系统化地介绍了Linux设备驱动程序相关的基础知识和应用性知识。任何人阅读了本书，即使完全不了解Linux驱动程序，都可以快速成长为Linux驱动程序的行家。本书以通俗易懂的语言详细阐述了基础性内容，非常有利于掌握基本概念并树立Linux驱动程序的开发理念。本书还不乏深层内容，对于高水准读者，也是不错的指南书。书中涉及的实用性测试方法、源代码以及作者多年的开发经验，更是精髓中的精髓，也是我如此敬重作者的原因。Linux驱动程序的入门者一定要配备本书。

——郑东烈 韩国东国大学研究院

作者简介

俞永昌 (frog@falinux.com) 的专业是电子工学，参加工作后从事工厂自动化及网络控制相关程序的开发工作。由于控制系统在Windows操作环境中总是不稳定，作者尝试着使用Linux操作系统，就这样开始接触了嵌入式Linux。之后，被专门移植嵌入式控制和Linux的FA Linux公司聘为技术主管，并在嵌入式Linux网友会KELP等网站上开办了在线讲座。

审校者简介

安润浩 (Xray21的技术主管及Macrosoft技术咨询委员) 现任Xray21的技术理事，非常关注内核的结构和嵌入式系统。虽然还不是内核开发领域的佼佼者，但可称为Linux和NetBSD内核技术发烧友或内核黑客。

吴才晶 (FA Linux技术主管) 毕业于檀国大学电子工学专业，现任FA Linux技术主管，他从8位micom到Windows，最后定位于Linux操作系统。喜欢在IC芯片的制造商网站上搜索产品的spec或data sheet等。

俞明焕 (NETPLUG公司代表) 积累了从应用程序到设备驱动程序的多种经验，在三星SDS远程教育、三星电子、韩国软件振兴园IT SoC学院、VITCAMP等处进行着嵌入式Linux相关的长短期教育。目前正在制作用于Ubiquitous技术 (CPU处理器、通信、传感器技术) 相关的专业教育的器材及内容。

审校者序

编辑本书的过程中，我又学到了不少知识，留下了美好的回忆。首先，这样的著作问世，我也尽了绵薄之力，不由得产生了自豪感。其次，有了查阅更多相关文献的机会。更值得一提的是，能够有机会与实际制作设备驱动程序和主板的人一起工作，学到了更多有实际意义的知识。像我这样的理论家来编修实务派书，这本身就是一种挑战。如今，终于有机会接触到新的内核源代码了。我早就希望真正编译Linux内核，若有机会还能与俞永昌先生共同完成理论与实战相结合的作品，那真是求之不得。

刚开始读俞永昌先生的著作时，给人感觉内容庞杂，但真正读懂后就能发觉句句都是实战经验，并且挑战了O'Reilly Media的Linux device driver所漏掉的所有要素。从多种运行错误中总结的结论是本书的一大特点。

由于主题的特殊性，涉及的理论也不简单，因此该书篇幅宏大。正因为这样，能够获取的知识面也较广。实际上，能够用这样的篇幅介绍清楚，使读者运行驱动程序，可以为读者提供提高自信心及实战理解力的关键性机会。实际阅读本书，跟踪运行书中实例，可以获得任何书籍都不能提供的信息及经验技巧。

——安润浩

本人与本书的作者共事8年。我突然想起了8年前向作者力说Linux的可能性的场景。那时候很难找到Linux相关资料，只能凭借UNIX的书籍理解Linux。如今很容易就能找到Linux内核结构或编程相关的书籍，然而，设备驱动程序相关的书籍就只有一本译著。不知不觉从事设备驱动程序的开发工作已有4年，在这期间想尽了各种方法，也经历了很多次挫折，最后发现多数问题的根本在于内核API函数中的误用。在几个网站上可以看到介绍内核API函数的说明，但函数的使用方法或实例只能在设备驱动程序的源代码中找到。然而，即使找到了源代码，由于体现设备驱动程序时使用的函数较多，还是给开发工作带来了难度。在这方面，本书的读者却是比较自由的。本书只介绍了必要的功能，还以提供实例的方式介绍了各种函数的使用方法，这样一来，开发过程中可以直接参考这些函数的用法。即使是这样，这本书也算不得参考书。偶尔也有一些读者希望简单阅读编程部分，那么不妨放弃后边的源代码，只阅读前面的基本内容。

幸运的是，审校本书的那段时间正好进行着内核2.6相关的项目。由于本书介绍了内核2.6版本中更新的部分和追加的内容，正好可以在项目上运用这些新功能。凡事有了先行者，才会得知事情的可能性。我有幸先睹为快，在这里由衷地向本书的作者表达谢意。

——吴才晶

近来，计算机爱好者较多关注Linux。曾几何时，不管占据多少硬盘容量，只要能安装到计算机中，就会被称为Linux狂人。自从开发了Red Hat后，安装已不再是难事。如今，从简单地使用Linux逐步进入开发阶段，甚至达到了嵌入式Linux、Realtime Linux的水平，而我幸运地成为了开发者的一员，感到无比的自豪。

希望利用Linux控制设备（硬件）的开发人员、正在使用Linux却仍觉得有那么一点差距的开发者以及希望在内核2.6新版本中继续开发驱动的发烧友们，我很有自信地向你们推荐本书。

——俞明焕

作者序

说道“善人”，大家可能会想到志愿服务者。但是，作为一名每天为解决各种技术问题而绞尽脑汁的技术人员，我愿意将通过网络或书籍把自己所掌握的知识传授给他人的开发者列在“善人”的行列。开发者经常需要在限定的时间内解决自己所面临的问题。但是在很多时候，由于自身知识的不足，不知如何下手才好。在身处绝境时能够得到别人的帮助是非常幸运的。因此，我在网络或书籍上找到解决问题的某种线索时，对这些提供帮助的人总是满怀感激之情。

我也希望自己有一天加入为别人提供知识的“善人”的行列。但是，由于知识和勇气的不足，这个想法一直只停留在脑海里。

在一个偶然的的机会，我受到hanbit媒体的某位先生的邀请决心写这本书。最终，通过这位先生的帮助被选为作者，并毫不犹豫地开始了这个庞大的编写任务（尽管后来也后悔过）。

目前，由于Linux内核是公开的，因此，Linux被广泛地应用于各种嵌入式系统中。Linux设备驱动程序也受到越来越多的重视。我曾经面对唯一的一本O'Reilly公司的“*Linux Device Driver*”不知如何下手，虽然该书内容丰富，但对于一名初学者来说有一定的难度。还有一点不足的是，书中过于详细地介绍了实际应用中很少使用的内容。

我写这本书的目的就是想从另外一个角度来对Linux设备驱动程序进行阐述。我所在公司的主要业务就是制作和销售运行Linux操作系统的单片机，因此有了了解各种各样的Linux设备驱动程序的机会。我一开始就一直从事于嵌入式系统的编程工作。虽然是一名电子工程专业的毕业生，但对计算机却情有独钟，在学校里所学的操作系统的的相关知识对于后来的Linux设备驱动程序的理解有了很大的帮助。我以各种经验为基础开始了本书的写作。

本书首先分阶段介绍学习Linux设备驱动程序所需的各种知识，然后复习所学的内容，再通过具体实例在实际应用中加深对所学知识的理解。书中的实例都是通过计算机并行口进行实验，只需要一些普通的LED和金属箔片，故不需要了解有关硬件的专门知识。

本书的写作过程正好赶上Linux内核从2.4版本升级到2.6版本。为了兼顾两者，书中的实例也分为用于2.4和2.6两种版本。这样，会不可避免地出现一些重复的内容，但这也是我有意这样做的。也许有些读者不太赞同，但是我不想因为两个版本的细微不同而让读者费时费力地去查阅网上的源代码。本书中的源代码没有注释，而相关说明则安排在正文中。这并不是因为忽视注释的重要性，而是希望通过阅读源代码来培养读者的能力。读者可以在理解源代码的基础上再参考有关说明。

有些人认为本书应该增加2%的内容，可能是因为希望对Linux内核有更深入的了解。本书主要介绍的内容就是在开发设备驱动程序时所常用的知识，至于不经常使用的或者在其他书籍中有详细介绍的则没有在本书中详细讨论，这将导致本书内容过分庞大，而且这也超出我的能力范围。

致 谢

在写这本书之前，我也是一名读者。对花钱买来的书也常表示过不满，偶尔也想过写一本书。但是在写书的过程中，不得不对以前的很多书发出深深的感慨，也了解到出版一本书需要很多人付出艰辛的努力。衷心感谢在本书的编辑过程中付出了很多努力的刘景熙（音译）先生、任成春（音译）组长以及校正作者拙劣的文章而费尽心机的朴贤真（音译）先生。同时，感谢对本书的内容给予指导的安润浩（音译）、吴才晶（音译）和俞明焕（音译）先生，还要感谢通过互联网提供各种Linux内核相关资料的不知名的人们。最后，特别感谢在写作书的过程中不得不独自承担家庭重任的亲爱的妻子李美善（音译），还有可爱的长女俞善英（音译）和儿子俞敏尚（音译）。

主 要 内 容

第1章 实验环境的设置与准备

介绍学习设备驱动程序所需的PC机的环境、Linux内核的编译、Bootloader以及运行实例所需的设备。

第2章 Linux内核与设备驱动程序

介绍Linux内核2.4版本和2.6版本的特点以及设备驱动程序的相关知识。以设备驱动程序为中心，介绍相关Linux内核代码的结构。

第3章 设备文件和低级文件输入输出

介绍与设备驱动程序相关的低级文件输入输出函数，并通过实例来说明其使用方法。

第4章 简单内核模块的测试

介绍内核模块的概念，编写并测试一个简单的内核模块。

第5章 内存的分配和释放

介绍与设备驱动程序有关的内存分配和释放的函数。

第6章 设备的注册与注销

通过一个简单的字符设备驱动程序的实例来学习设备驱动程序的注册和解除方法。

第7章 设备驱动程序的初始化与终止

介绍设备驱动程序的初始化及实现方法。

第8章 设备驱动程序的读取与写入

介绍利用设备驱动程序读写硬件数据的方法及利用设备驱动程序访问硬件时所用到的一些基本函数。

第9章 主设备号与次设备号的处理

介绍主设备号与次设备号的含义及预约的设备文件的种类。说明具有不同特性的设备驱动程序的运行过程。

第10章 设备控制

介绍用于硬件控制的特殊函数*ioctl()*及在编写提供*ioctl()*函数的设备驱动程序时必须掌握的函数和宏。

第11章 时间处理与内核定时器

介绍设备驱动程序中与时间的处理有关的函数、内核定时器的概念及其使用方法。

第12章 中断处理

介绍中断在设备驱动程序的使用方法、中断函数的特点。

第13章 阻塞型输入输出

阻塞型输入输出是多进程环境下内核所应提供的功能之一。本章介绍设备驱动程序中阻塞型输入输出的实现方法。

第14章 输入输出的复用

介绍解决阻塞型输入输出所需的输入输出复用的实现方法。

第15章 任务队列和工作队列

介绍2.4版内核的任务队列和2.6版内核的工作队列的概念及其使用方法。

第16章 Bottomhalf

2.6版的内核之前，中断的后处理部分称为Bottomhalf。本章介绍Bottomhalf的概念及其使用方法。

第17章 proc文件系统

介绍proc文件系统以及设备驱动程序中与proc文件系统相关的函数及其使用方法。

第18章 内存映射

介绍内核中的各种内存映射和mmap。其中，mmap能够高速处理设备驱动程序和应用程序之间传递的大容量数据。

第19章 模块间相互引用

组合多个模块来实现某种功能时，一个模块需要引用其他模块的函数和变量。本章主要介绍设备驱动程序中模块间相互引用的实现方法。

第20章 多进程环境下的设备驱动程序

讨论多进程环境下开发设备驱动程序所应考虑的注意事项，以及设备驱动程序在抢占式内核中可能会出现的问题及其解决方法。

第21章 设备驱动程序与内核源代码的合成

介绍设备驱动程序的构成、Makefile文件的语法以及内核编译选项文件的语法。

第22章 块设备驱动程序

介绍块设备驱动程序的概念、特点以及在块设备驱动程序中使用的结构体和相关函数。

第23章 网络设备驱动程序

介绍网络设备驱动程序的管理工具，对开发网络设备驱动程序所必需掌握的结构体和函数进行说明。

第24章 设备文件系统

介绍2.6版内核的设备驱动程序文件系统，并分析相关结构体和函数。

第25章 系统文件系统

介绍2.6版内核文件系统，并介绍支持该文件系统的设备驱动程序所涉及的一些概念、相关结构体及函数。

第26章 移植系统的移植、信号和帮助

移植设备驱动程序之前，先了解其他平台下的设备驱动程序的特点，并通过实例掌握设备驱动程序如何将SIGIO传递给进程。

第27章 DMA与PCI设备

介绍在i386和ARM平台下设备驱动程序处理DMA的方法。并介绍设备驱动程序在控制PCI设备时所涉及的一些结构体和函数。

本书的实例

在这里列出了书中涉及的所有实例。为了方便检索，按照内核的版本进行了分类，并且标出了具体目录。

ch01, ch02, ch07, ch20, ch23, ch25, ch27				无实例源代码
ch03	common	ip		main.c
		port		main.c
ch04	2.4	base		Makefile test.c
		param		Makefile test.c
	2.6	base		Makefile test.c
		param		Makefile test.c
ch05	2.4	basicmem		Makefile basicmem.c
	2.6	basicmem		Makefile basicmem.c
		mempool		Makefile mempool.c
ch06	2.4	call	app	call_app.c
			dev	Makefile call_dev.c
	2.6	call	app	call_app.c
			dev	Makefile call_dev.c
ch08	2.4	readwrite	app	rdwr_app.c
			dev	Makefile rdwr_dev.c
	2.6	readwrite	app	rdwr_app.c
			dev	Makefile rdwr_dev.c
ch09	2.4	minor	app	minor_app.c
			dev	Makefile minor_dev.c
	2.6	minor	app	minor_app.c
			dev	Makefile minor_dev.c
ch10	2.4	ioctl	app	ioctl_app.c ioctl_test.h
			dev	Makefile ioctl_dev.c ioctl_test.h
			include	ioctl_test.h
	2.6	ioctl	app	ioctl_app.c ioctl_test.h
			dev	Makefile ioctl_dev.c ioctl_test.h
			include	ioctl_test.h
ch11	2.4	kernertimer	dev	Makefile kernertimer_dev.c
	2.6	kernertimer	dev	Makefile kernertimer_dev.c
ch12	2.4	interrupt	app	int_app.c
			dev	Makefile int_dev.c
	2.6	interrupt	app	int_app.c
			dev	Makefile int_dev.c
ch13	2.4	blockio	app	blockio_app.c
			dev	Makefile blockio_dev.c

续表

ch13	2.6	blockio	app	blockio_app.c
			dev	Makefile blockio_dev.c
ch14	2.4	poll	app	poll_app.c
			dev	Makefile poll_dev.c
	2.6	poll	app	poll_app.c
			dev	Makefile poll_dev.c
	ex			poll.c select.c
ch15	2.4	taskqueue1	app	taskqueue_app.c
			dev	Makefile taskqueue_dev.c
		taskqueue2	app	taskqueue_app.c
			dev	Makefile taskqueue_dev.c
	2.6	workqueue1	app	workqueue_app.c
			dev	Makefile workqueue_dev.c
		workqueue2	app	workqueue_app.c
			dev	Makefile workqueue_dev.c
ch16	2.4	bottomhalf	app	int_app.c
			dev	Makefile bh_dev.c
ch17	2.4	proc	dev	Makefile proc_dev.c
	2.6	proc	dev	Makefile proc_dev.c
ch18	2.4	mmap_call	app	mmapcall_app.c
			dev	Makefile mmapcall_dev.c
	2.6	mmap_call	app	mmapcall_app.c
			dev	Makefile mmapcall_dev.c
ch19	2.4	export		Makefile call_dev.c func_dev.c
	2.6	export		Makefile call_dev.c func_dev.c
ch21	2.4			test.c
	2.6			test.c
ch22	2.4	vhdd		Makefile vdisk.c vhdd.c
		vrd		Makefile vrd.c
	2.6	vhdd		Makefile vdisk.c vhdd.c
		vrd		Makefile vrd.c
ch24	2.6	dev_fs	app	devfs_app.c
			dev	Makefile devfs_dev.c
ch26	2.4	arm_dio	app	armdio_app.c
			dev	Makefile arm_dio_dev.c
	2.6	run	app	run_app.c
			dev	Makefile run_dev.c
		sigio	app	Makefile
			dev	sigio_dev.c

本书的实验环境及主要读者对象

实验环境

完成本书的实例只需要运行Linux的PC机即可。至于Linux版本，只要支持2.4版或2.6版的内核就能满足本书实验的要求。但需要注意的是，大部分实例使用并行口来完成，因此，不能用笔记本电脑做实验。具体的注意事项将在第1章中详细说明。

读者对象

- 系统管理者；
- 准备在嵌入式系统中运行Linux的开发人员；
- 基于Linux的嵌入式系统应用程序开发者；
- 想了解Linux内核的设备管理机制的学生。

目 录

第1章 实验环境的设置与准备 1

1.1	系统与Linux运行机制准备	2
1.1.1	系统准备	2
1.1.2	Linux发布版的安装与 环境设定	2
1.2	内核源代码的准备	4
1.2.1	获取源代码	5
1.2.2	编译内核	5
1.2.3	内核设定	8
1.3	实验设备的准备	10
1.3.1	打印机接口的准备	10
1.3.2	实现输入输出的准备物品	13
1.4	实验环境的检查	14

第2章 Linux内核与设备驱动程序 17

2.1	Linux操作系统	18
2.2	Linux内核	18
2.2.1	Linux的历史	18
2.2.2	Linux内核的功能	19
2.2.3	Linux内核的特点	20
2.2.4	内核源代码的结构	21
2.2.5	浏览内核源代码	23
2.3	设备驱动程序	24
2.3.1	向内核请求资源处理 的方法	25
2.3.2	模块和设备文件	25
2.3.3	设备驱动程序的类型	27

2.3.4	整合型设备驱动程序 (2.6内核)	28
2.3.5	设备驱动程序的层次	29
2.3.6	设备驱动程序源代码 的结构及介绍	31

第3章 设备文件和低级文件输入输出 35

3.1	设备文件和文件输入输出函数	36
3.1.1	应用程序中控制硬件 的方法	36
3.1.2	设备文件	36
3.1.3	文件输入输出函数	38
3.2	低级文件的输入输出函数	39
3.2.1	打开和关闭文件函数 open()和close()	39
3.2.2	文件的读取和写入函 数read()和write()	40
3.2.3	文件指针处理函数 lseek()	41
3.2.4	设备控制函数ioctl()	42
3.2.5	同步处理函数fsync()	42
3.3	设备文件相关函数	42
3.3.1	设备文件的生成函数 mknod()	42
3.3.2	Error处理函数perror()	43
3.4	低级文件输入输出函数的应 用实例	44
3.4.1	准备零部件	44

3.4.2	基本低级文件输入输出函数的使用例子	44	4.6.5	printf()函数的注意事项	72
3.4.3	ioctl()函数的使用例子	47	4.7	内核与模块	72
3.5	mknod命令和低级文件输入输出函数	50	4.7.1	创建为模块的原因	73
第4章	简单内核模块的测试	55	4.7.2	内核内部的模块管理	73
4.1	内核模块编程的第一步	56	4.7.3	内核模式和内核内存地址空间	75
4.1.1	“Hello world”的内核模块(内核版本2.4)	56	4.7.4	单向的符号引用	75
4.1.2	“Hello world”的内核模块(内核版本2.6)	57	4.7.5	模块和模块的引用	76
4.1.3	另一种形式的内核版本2.4的模块程序	59	第5章	内存的分配和释放	77
4.2	内核模块程序的准备	59	5.1	变量	78
4.2.1	模块实现原理	60	5.1.1	局部变量和全局变量的选择	78
4.2.2	内核提供的符号表: /proc/ksyms	61	5.1.2	防止函数和变量的重复命名	78
4.2.3	模块应用程序	61	5.1.3	可移植性和数据类型	78
4.3	内核模块程序的组成	63	5.1.4	输入输出内存变量的处理	80
4.3.1	声明头文件	63	5.2	动态内存	81
4.3.2	模块初始化函数和删除函数的声明	63	5.2.1	函数kmalloc()和kfree()	82
4.3.3	2.6内核的权限登记	63	5.2.2	函数vmalloc()和vfree()	83
4.4	用于模块编译的Makefile	64	5.2.3	函数__get_free_pages() 和free_pages()	84
4.4.1	2.4内核中编译外部模块的Makefile	64	5.3	动态内存实例	84
4.4.2	2.6内核中编译外部模块的Makefile	65	5.3.1	实例源代码	85
4.5	模块参数的说明	66	5.3.2	运行方法	88
4.5.1	2.4内核模块变量的实例	66	5.4	内存池	89
4.5.2	2.6内核模块变量的使用实例	68	5.5	内存池的实例	90
4.6	内核消息的输出	70	5.5.1	实例源代码	90
4.6.1	printf()函数	70	5.5.2	运行方法	92
4.6.2	管理内核内存的daemon	72	5.6	内存的分配与释放函数	93
4.6.3	dmesg命令	72	第6章	设备的注册与注销	97
4.6.4	/proc/kmsg	72	6.1	设备驱动程序的控制方式	98
			6.1.1	设备驱动程序的类型	98
			6.1.2	字符设备驱动程序的操作	99
			6.2	struct file_operations	101