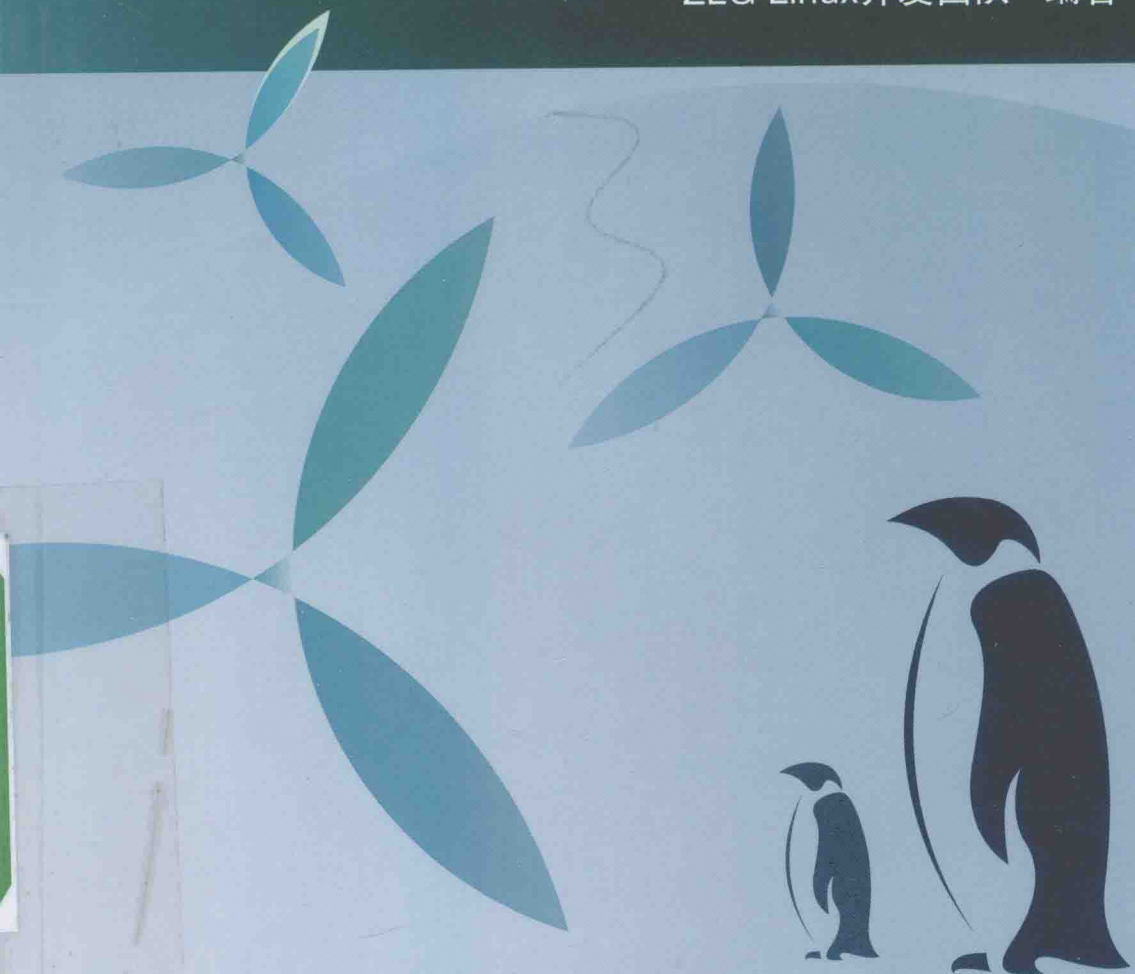


嵌入式Linux 开发教程 (下册)

周立功 主编
ZLG Linux开发团队 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

嵌入式 Linux 开发教程(下册)

周立功 主编
ZLG Linux 开发团队 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本教程是面向嵌入式 Linux 学习和产品开发的入门教程,分上下两册。本书为下册,分 3 篇,共 16 章,内容涵盖 Linux 内核、设备驱动、系统整合和产品化等方面。其中,设备驱动部分是重点内容,从模块编写开始,深入浅出地讲述了驱动编写的各个方面;之后以 Linux 子系统为单位,分别讲述了各常用外设的驱动编写或移植,如 LED、GPIO、I²C、SPI、Input 子系统、串口、声卡、WiFi 网卡和 3G 模块等。

本书由浅入深,结构合理,实用性强,提供的范例稍加改动即可应用于实际项目。阅读本书需要有一定 Linux 使用基础,适合于准备往驱动方向发展的嵌入式 Linux 开发工程师,也可作为高校非计算机专业高年级学生学习嵌入式 Linux 驱动的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式 Linux 开发教程. 下册 / 周立功主编. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2016. 10
ISBN 978 - 7 - 5124 - 2253 - 7

I. ①嵌… II. ①周… III. ①Linux 操作系统—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP316. 89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 220441 号

版权所有,侵权必究。

嵌入式 Linux 开发教程(下册)

周立功 主编

ZLG Linux 开发团队 编著

责任编辑 董立娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

北京市同江印刷有限公司印装各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:21.75 字数:489 千字

2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2253 - 7 定价:49.00 元

前 言

一提到 Linux,不少人都觉得很难,一方面是难用,另一方面是难学;若再提到 Linux 驱动,则会觉得更难、更神秘,有的甚至会认为能写 Linux 驱动的都是“大牛”。其实这都是误解:一方面, Linux 并不是想象中的那么难;另一方面,能写 Linux 驱动的也不一定是“大牛”。不是“大牛”也能写 Linux 驱动,因为 Linux 驱动并不神秘,写 Linux 驱动也不难,只要选择正确的学习方法,每个人都能成为自己心中的那个“大牛”。

当然,要成为真正的“大牛”不是一件容易的事情,需要经过多年的刻苦钻研、历经众多项目的历练,才有可能达到较高的高度。ZLG Linux 团队大多具有多年研发经验,也历经了不少项目,但也不敢妄称“大牛”,也仅仅自认为是对 Linux 驱动比较熟悉而已,掌握的技能能够应付日常项目的实际需求。对于一般的产品研发工程师而言,这已经是一个不错的状态了,这也是本书希望读者达到的效果。如果期望达到更高的高度,则还须付出更多的努力,走更长的路。高手是培养不出来的,也是不可批量复制的,而是通过自身努力不断修炼进化而成长起来的。

“纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行”,用来描述嵌入式 Linux 学习过程是非常贴切的。特别是对于 Linux 驱动,看再多的书和代码,也不如实际编写一个驱动模块管用,哪怕是一个简单的“Hello World”模块,或者控制一个 LED 的简单驱动。正因为如此,本书在介绍了某些甚至某个知识点后,都适时地给出了一个可实际操作的范例,对介绍的知识加以实际应用。强烈建议读者逐字逐行输入代码,并在实际平台上验证,从而达到掌握该知识点的目的。

嵌入式 Linux 系统整合也是一项基本能力。制作和发布一个属于自己的嵌入式 Linux 发行版是一件很有意思的事,其实也并不难。本书分别介绍了 3 种不同的方法,都非常实用。

本书是本系列教程上册的姊妹篇,侧重外设驱动和系统整合,由多位具有多年嵌入式 Linux 工作经验的资深工程师所编写,与工程应用紧密结合,具有以下特点:

- ▶ **庖丁解牛,化整为零。**将复杂问题分解为多个知识点,然后对各个知识点逐一进行讲解分析,全方位剖析。分解后能极大地降低学习难

度,也能提升学习兴趣。

- **由浅入深,层层递进。**将分解后的知识点,按照合理的逻辑,由简到难,逐一增加,在适当的时机,安排可操作的范例,而不是全部讲解完后再给出。范例力求简单,使读者能在尽可能简短的范例中对讲述的知识点进行实操。
- **范例详实、实用性强。**将本书的范例稍加移植即可应用到实际项目中,有不少范例就是直接取材于实际项目。本书融入了很多实际项目经验,这也是本书的特点之一。

本书分3篇,共16章,各部分内容安排如下:

第1篇 嵌入式 Linux 内核驱动开发,包括第1~11章,是本书重中之重,从Linux内核裁剪开始,由浅入深地讲述了驱动编写基础知识,之后讲述了各子系统 and 外设驱动实现,最后介绍了3个驱动移植实例。

第2篇 嵌入式 Linux 系统整合,包括第12~15章,是本书的第二个重点,先介绍了Bootloader和文件系统,然后分别介绍了两个文件系统制作利器Buildroot和OpenWRT。

第3篇 产品化和创意,仅第16章,结合众多项目经验,从多方面给出了学习板到实际产品转化过程中的思路指导,具有很强的参考意义。

参与本书编写的人员还有陈锡炳、张波和张展威等。另外,本书在编写过程中也参考了网络上一些同行的文章或者笔记,在此表示感谢。

“独乐乐不如众乐乐”,尽管编者水平有限,但我们还是很乐意将多年工作的一些经验整理成书与各位同行分享,书中难免存在不足或错误,望读者来信进行批评和指正,邮箱:Linux@zlg.cn。

周立功

2016年6月



第 1 篇 嵌入式 Linux 内核驱动开发

第 1 章 Linux 内核裁剪和定制	3
1.1 Linux 内核开发简介	3
1.2 Linux 源码阅读工具	3
1.2.1 Source Insight	4
1.2.2 Eclipse	6
1.2.3 Vim+ctags+cscope	8
1.2.4 LXR	8
1.3 Linux 内核源码	10
1.3.1 目录树概览	10
1.3.2 快速确定主板关联代码	12
1.4 Linux 内核中的 Makefile 文件	14
1.4.1 顶层 Makefile	15
1.4.2 子目录的 Makefile	16
1.5 Linux 内核中的 Kconfig 文件	17
1.5.1 Kconfig 基本语法	17
1.5.2 配置项和配置开关	20
1.6 配置和编译 Linux 内核	21
1.6.1 快速配置内核	21
1.6.2 内核配置详情	23
1.6.3 编译内核	32
1.6.4 运行内核	37
1.7 Linux 内核裁剪实例	38
1.7.1 GPIO 子系统配置	38
1.7.2 LED 子系统配置	39
1.7.3 串口配置	40
1.7.4 USB Host 驱动配置	40
1.7.5 USB Gadget 驱动配置	42
1.7.6 SD/MMC 驱动配置	43
1.7.7 网卡驱动配置	44

1.7.8	NFS Client 配置	45
1.7.9	PPP 拨号配置	45
1.7.10	MTD 配置	46
1.7.11	UBIFS 文件系统配置	47
1.7.12	CAN 驱动配置	47
1.8	EPC-28x 平台内核快速编译	48
第 2 章	Linux 设备驱动基础	49
2.1	Linux 内核模块	49
2.1.1	Linux 和模块	49
2.1.2	编写内核模块	49
2.1.3	最简单的内核模块	53
2.1.4	带参数的内核模块	54
2.2	Linux 设备	56
2.2.1	Linux 设备和分类	56
2.2.2	设备节点和设备号	56
2.2.3	设备的注册和注销	60
2.3	Linux 设备和驱动	62
2.3.1	驱动在 Linux 中的地位	62
2.3.2	驱动的基本要素	62
2.3.3	驱动和应用程序的差别	63
2.3.4	驱动的入口和出口	63
2.3.5	支持 udev 设备管理方法	65
2.3.6	设备驱动的操作方法	70
2.4	字符驱动框架	74
2.4.1	字符驱动框架	74
2.4.2	测试程序	78
2.5	第一个完整意义上的驱动	80
2.5.1	ioctl 命令	80
2.5.2	内核空间的 ioctl	82
2.5.3	用户空间的 ioctl	82
2.5.4	LED 驱动范例	82
2.6	内核/用户空间的数据交换	88
2.6.1	检查地址的合法性	88
2.6.2	往用户空间传递数据	88
2.6.3	从用户空间获取数据	90
2.6.4	支持读/写的驱动范例	91
2.7	在驱动中使用中断	96

2.7.1	申请和释放中断	96
2.7.2	中断处理程序编写	98
2.7.3	按键驱动	99
2.8	混杂设备驱动编程	103
2.8.1	混杂设备和驱动	103
2.8.2	混杂设备驱动框架	104
2.9	I/O 内存访问	107
2.9.1	静态 I/O 映射	107
2.9.2	动态 I/O 映射	110
2.9.3	I/O 内存访问函数	110
2.10	Linux 设备驱动模型	111
2.10.1	设备	111
2.10.2	驱动	113
2.10.3	总线	114
2.10.4	类	115
2.11	平台设备和驱动	117
2.11.1	资源	117
2.11.2	平台设备	119
2.11.3	平台驱动	122
2.11.4	平台驱动与普通驱动的差异	123
2.11.5	平台驱动范例	124
第 3 章	LED 子系统和驱动	131
3.1	LED 子系统驱动简介	131
3.2	LED 子系统的分层结构	131
3.3	LED 设备的实现	132
3.4	i.MX28 平台的 LED 设备	135
第 4 章	GPIO 驱动	138
4.1	GPIOLIB 简介	138
4.2	GPIOLIB 的内核接口	138
4.3	GPIOLIB 的实现方法	139
4.4	驱动示例	141
第 5 章	输入子系统和按键驱动	149
5.1	输入子系统	149
5.1.1	输入子系统构成	149
5.1.2	各事件管理器详解	152
5.1.3	设备驱动	154
5.2	驱动实现	158

5.2.1	电路和原理	158
5.2.2	按键驱动实现	159
第 6 章	I²C 总线和外设驱动	165
6.1	I ² C 子系统	165
6.1.1	I ² C 子系统的设计思路	165
6.1.2	I ² C 子系统的实现	169
6.1.3	I ² C 子系统在 /sys 文件系统的信息	176
6.2	I ² C 驱动实现示例	177
6.2.1	FM24C02A 驱动的设计思路	177
6.2.2	添加 FM24C02A 设备	178
6.2.3	实现 FM24C02A 驱动	178
6.2.4	实现 I ² C 驱动	178
第 7 章	SPI 总线和外设驱动	185
7.1	硬件连接	185
7.2	SPI 驱动架构简析	185
7.2.1	SPI 核心层	186
7.2.2	SPI 主控制器驱动层	186
7.2.3	SPI 设备驱动层	187
7.2.4	SPI 数据传输	191
7.3	SPI NOR Flash 驱动	193
7.3.1	驱动实现	194
7.3.2	配置和编译	195
7.3.3	测试块设备	196
7.4	SPI 数码管显示驱动	197
7.4.1	电路原理	197
7.4.2	驱动实现	198
7.4.3	驱动编译和测试	202
第 8 章	UART 和 SC16IS752 驱动	204
8.1	UART 驱动简析	204
8.1.1	重要数据结构	204
8.1.2	UART 驱动 API	208
8.2	SC16IS752 芯片和电路原理	210
8.2.1	SC16IS752 芯片介绍	210
8.2.2	电路原理	212
8.2.3	驱动移植思路	212
8.3	I ² C 接口驱动实现	212
8.3.1	定义 i2c_device_id	212

8.3.2	添加注册 I ² C 设备	213
8.3.3	I ² C 驱动实现	214
8.4	UART 相关驱动	214
8.4.1	信息描述和数据结构	214
8.4.2	底层操作函数和实现	215
8.4.3	probe 函数和实现	219
8.4.4	uart_ops 函数和实现	221
8.4.5	中断处理	230
8.5	串口测试	234
第 9 章	SGTL5000 声卡驱动移植	235
9.1	背景交代	235
9.2	电路原理图	235
9.3	驱动移植	237
9.3.1	引脚设置	237
9.3.2	添加 SGTL5000 I ² C 设备	238
9.3.3	配置和编译	239
9.3.4	修正播放音频的问题	239
9.4	音频接口操作	242
第 10 章	AP6181 无线网卡驱动移植	247
10.1	硬件原理图	247
10.2	驱动移植	248
10.2.1	修改引脚功能	248
10.2.2	添加 mmc 设备	250
10.2.3	添加驱动源码	252
10.2.4	添加唤醒中断	252
10.2.5	添加上下电控制	253
10.2.6	修改内核配置文件	254
10.2.7	配置内核	255
10.2.8	编译内核、模块驱动	256
10.3	使用网卡	256
10.3.1	加载驱动模块	256
10.3.2	连接到 AP	257
第 11 章	SIM6320-PCIE 3G 模块驱动移植	260
11.1	驱动移植	260
11.1.1	添加驱动源码	260
11.1.2	配置内核	260
11.2	PPP 拨号上网	262

第 2 篇 嵌入式 Linux 系统整合

第 12 章 嵌入式 Linux 和 Bootloader	267
12.1 概 述	267
12.1.1 系统硬件和映像布局	267
12.1.2 嵌入式 Linux Bootloader	268
12.1.3 U-Boot 介绍	269
12.2 U-Boot 使用	270
12.2.1 U-Boot 常用命令	270
12.2.2 环境变量	273
12.2.3 使用网络	275
12.2.4 NAND Flash 操作	276
12.2.5 组合命令	279
12.3 U-Boot 源码介绍	279
12.3.1 U-Boot 目录简介	279
12.3.2 U-Boot 的启动简介	280
12.3.3 U-Boot 的驱动	282
12.3.4 U-Boot 的命令	282
12.3.5 U-Boot 的平台相关代码	283
12.3.6 U-Boot 的配置文件	285
12.3.7 U-Boot Tools	286
12.4 U-Boot 编译实例	287
12.4.1 编译说明	287
12.4.2 i.MX28 U-Boot 的实用工具	288
第 13 章 嵌入式 Linux 文件系统	290
13.1 根文件系统	290
13.1.1 根文件系统布局	290
13.1.2 根文件系统类型	291
13.2 使用 BusyBox 制作根文件系统	293
13.2.1 BusyBox 介绍	293
13.2.2 交叉编译 BusyBox	293
13.2.3 构建根文件系统	295
13.3 制作根文件系统镜像	299
第 14 章 Buildroot	301
14.1 Buildroot 简介	301
14.2 安装 Buildroot	301
14.3 使用 Buildroot 构建根文件系统	302

14.3.1	配置 Buildroot	302
14.3.2	编译 Buildroot	305
14.4	使用新的文件系统	307
14.4.1	完善文件系统	307
14.4.2	测试文件系统	308
14.5	发布文件系统	309
第 15 章	OpenWRT	313
15.1	OpenWRT 简介	313
15.2	OpenWRT 下载	313
15.2.1	SVN 下载	313
15.2.2	Git 下载	314
15.3	安装 OpenWRT	314
15.4	使用 OpenWRT 定制文件系统	314
15.4.1	检查编译环境	314
15.4.2	配置系统	315
15.4.3	编 译	316
第 3 篇 产品化和创意		
第 16 章	产品化和创意	319
16.1	做最适合的系统	319
16.2	做可靠的系统	320
16.2.1	分区域保护	320
16.2.2	双备份	322
16.3	做用户满意的系统	322
16.4	快速启动	323
16.4.1	精简 Bootloader	323
16.4.2	精简内核	324
16.4.3	精简根文件系统	332
参考文献	334

第 1 篇 嵌入式 Linux 内核驱动开发

本篇主要讲述嵌入式 Linux 产品开发过程中的内核/驱动开发相关内容，包括 Linux 内核裁剪定制、驱动编写和驱动移植等。进行嵌入式 Linux 驱动开发时，一些特定外设需要从零开始编写驱动，然而很多外设基本都有可参考驱动，在实际工作中仅须进行移植，本篇给出了 3 个驱动移植实例。

本篇共分 11 章，各章标题和内容概要如下：

- 第 1 章 Linux 内核裁剪和定制，首先介绍了几种内核源码查看工具，然后对内核目录树和相关文件进行介绍，接着给出了内核配置详情以及裁剪实例；
- 第 2 章 Linux 设备驱动基础，由浅入深地介绍了 Linux 驱动编写的相关知识点，从内核模块、字符设备驱动到平台设备驱动都有详细讲解，并给出了相应的范例代码；
- 第 3 章 LED 子系统和驱动，分析了内核中的 LED 子系统，并给出了相关实例；
- 第 4 章 GPIO 驱动，分析了内核中的 GPIOLIB 子系统，并给出了相关实例；
- 第 5 章 输入子系统和按键驱动，分析了内核中的输入子系统，并给出了按键驱动范例；
- 第 6 章 I²C 总线和外设驱动，分析了内核中的 I²C 子系统，并给出了 I²C 接口 EEPROM 驱动范例；
- 第 7 章 SPI 总线和外设驱动，简要分析了 SPI 总线驱动，并实现了两种典型 SPI 设备驱动；
- 第 8 章 UART 和 SC16IS752 驱动，简要分析了 UART 驱动子系统，并对 SC16IS752 的驱动实现进行了详细分析；
- 第 9 章 SGTL5000 声卡驱动移植，介绍了 SGTL5000 在 i.MX283 平台的移植过程；
- 第 10 章 AP6181 无线网卡驱动移植，介绍了 AP6181 无线网卡在 i.MX283 平台的移植过程；
- 第 11 章 SIM6320-PCIE 3G 模块驱动移植，介绍了 SIM6320-PCIE 模块驱动移植和 PPP 拨号上网的过程。

本篇的内容涵盖了嵌入式 Linux 产品开发过程中底层开发的大部分工作，给出的实例也都具有很强的参考意义。

第 1 章

Linux 内核裁剪和定制

【本章导读】

进行嵌入式 Linux 产品开发时,往往需要对内核进行裁剪和定制,以满足嵌入式产品的功能和性能需求。本章首先介绍了几种阅读 Linux 内核源码的工具和方法,紧接着介绍了 Linux 内核源码树的大体目录结构,并简要分析了内核的 Makefile 和 Kconfig 文件,然后着重介绍了 Linux 内核的裁剪和编译,最后给出了一些常用功能的裁剪配置实例。

注意:本章仅讨论 2.6 及以上内核,不涉及 2.4 或者更早版本内核。

1.1 Linux 内核开发简介

这里所说的“Linux 内核开发”仅仅是指嵌入式 Linux 产品开发中内核和驱动的相关开发工作,与 Linux 所领导的内核开发团队的内核开发有很大不同。

产品开发中对内核进行二次开发,需要开发人员具备如下一些基本技能和背景知识:

- 具备操作系统的基本知识,理解操作系统原理,最好了解 Linux 操作系统;
- 内核绝大部分都是 C 语言编写的,C 语言是必备技能;
- 内核是用 GNU C 编写的,尽管符合 ISO C89 标准,但还是使用了一些 GNU 扩展,所以对 GNU C 的一些扩展也必须有所了解;
- 对 Linux 内核源码基本分布有大致了解;
- 产品级的内核开发通常还包括一些内核驱动工作,对外设工作原理和驱动编写也必须有一定的了解。

1.2 Linux 源码阅读工具

俗话说,工欲善其事,必先利其器。面对几百兆的 Linux 内核代码,要阅读、查看或者搜索其中的代码,大部分初次接触 Linux 内核代码的开发人员,都有无从下手的感觉。下面推荐几个源码阅读和索引工具,能为后续内核开发提供一些便利。

1.2.1 Source Insight

Source Insight 是 Windows 平台下一款流行度极高的源码阅读和编辑工具。不少 Linux 开发人员还是习惯于在 Windows 下进行源码编辑,甚至查看、编辑 Linux 内核源码依然在 Source Insight 中完成。注意,Source Insight 是一款版权软件,需要自行解决版权问题。

安装 Source Insight 软件后,新建一个工程,取名并指定数据存放位置,如图 1.1 所示。

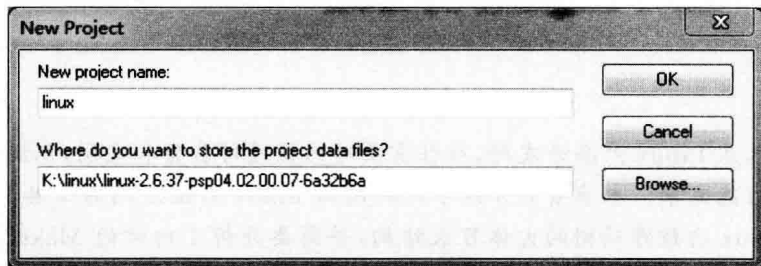


图 1.1 新建工程

单击 OK 按钮进入工程设置界面,如图 1.2 所示。然后添加源码。浏览选中 Linux 内核源码文件夹后,单击 Add Tree 按钮,则将内核源码树的全部文件添加到工程中,如图 1.3 所示。添加完成后即可在 Source Insight 中进行源码阅读和编辑了,如图 1.4 所示。

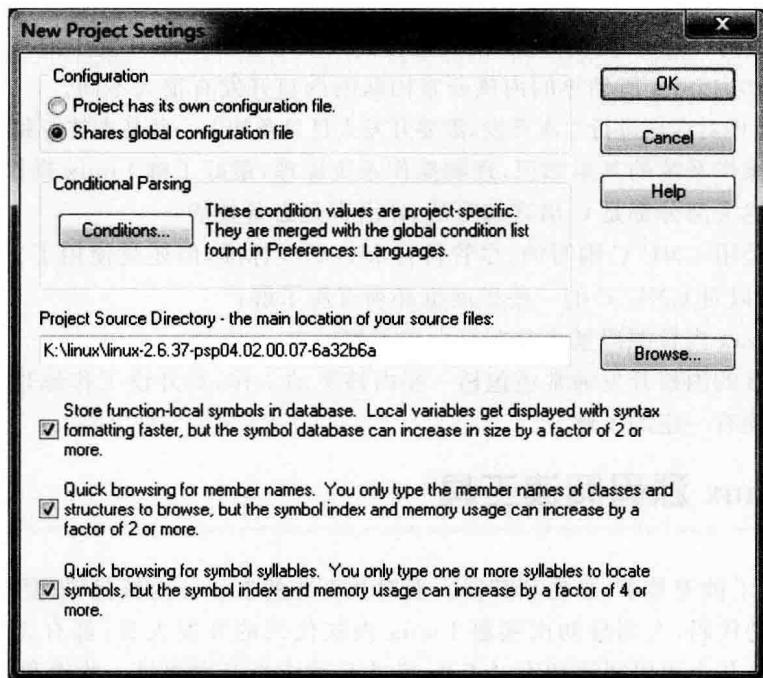


图 1.2 工程设置

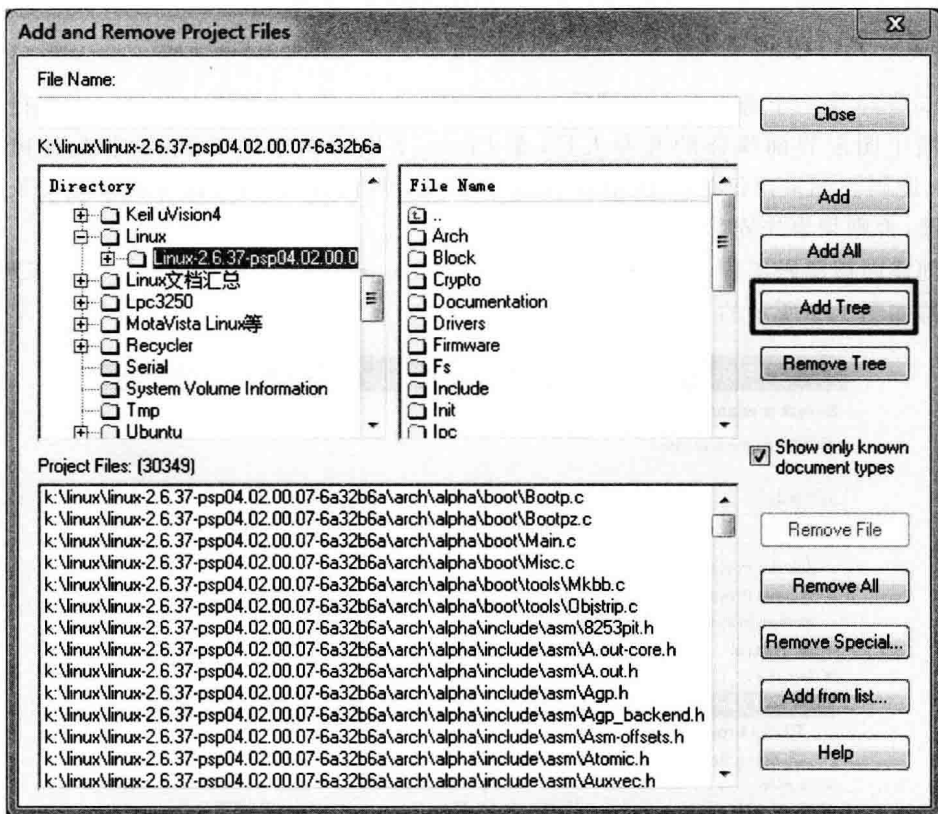


图 1.3 添加内核源码



图 1.4 在 Source Insight 中阅读源码