

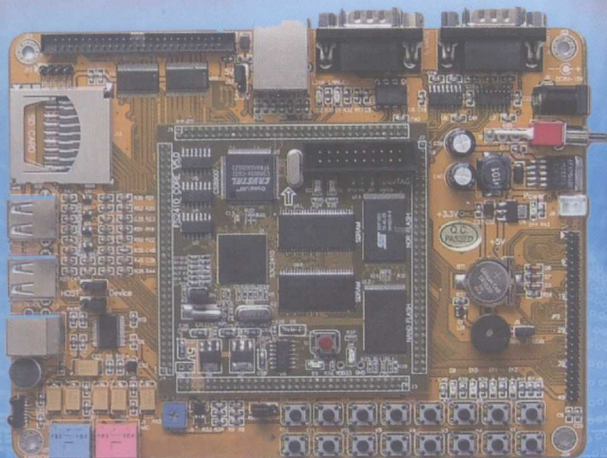
众多专家、厂商联合推荐 • 业界权威培训机构的经验总结

嵌入式Linux系统开发 标准教程 (第2版)

华清远见嵌入式培训中心 编著

提供36小时嵌入式专家讲座视频和教学课件

Embedded Linux System Development



光盘内容
本书配套PPT
嵌入式专家讲座视频
嵌入式图书样章

嵌入式与移动开发系列

NITE 国家信息技术紧缺人才培养工程
National Information Technology Education Project
国家信息技术紧缺人才培养工程系列丛书

嵌入式Linux系统开发 标准教程 (第2版)

华清远见嵌入式培训中心 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式Linux系统开发标准教程 / 华清远见嵌入式培训中心编著. —2版. —北京: 人民邮电出版社, 2009.3
ISBN 978-7-115-19475-6

I. 嵌… II. 华… III. Linux操作系统—程序设计—教材 IV. TP316.89

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第001181号

内 容 提 要

本书以嵌入式 Linux 系统开发流程为主线, 剖析了嵌入式 Linux 系统构建的各个环节。本书从嵌入式系统基础知识和 Linux 编程技术讲起, 接下来介绍了嵌入式 Linux 交叉开发环境的建立, 然后分析了嵌入式 Linux 系统的引导程序、内核和文件系统三大组成部分, 最后介绍了嵌入式 Linux 系统集成和部署的方法。

本书先以 ARM 平台为例, 对 U-Boot 和 Linux 内核启动过程做了详细分析, 为学习嵌入式 Linux 系统开发奠定基础, 然后从概念上阐述了嵌入式 Linux 系统开发流程, 实践上提供了具体的操作步骤, 使读者能够深入理解嵌入式 Linux 系统的构建。

本书可作为高等院校电子类、电气类、控制类专业高年级本科生、研究生学习嵌入式 Linux 的教材, 也可供希望进入嵌入式领域的科研和工程技术人员参考使用, 还可作为嵌入式培训班的教材和教辅材料。

嵌入式 Linux 系统开发标准教程 (第 2 版)

- ◆ 编 著 华清远见嵌入式培训中心
责任编辑 屈艳莲
执行编辑 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: 23
字数: 552 千字 2009 年 3 月第 2 版
印数: 11 001 - 15 000 册 2009 年 3 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19475-6/TP

定价: 45.00 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

本书编委会

主编

华清远见嵌入式培训中心

指导单位

工业和信息化部软件与集成电路促进中心

编委

谢学军 刘龙庚 何明华 曾雨峰 卢朝洪 樊治平

刘洪峰 臧博 孙天泽 刘洪涛 宋宝华 张善民

侯茂清 孙纪坤 孙琼 李佳 王大亮 王辉

傅曦 张强

顾问

工业和信息化部软件与集成电路促进中心副主任 邱善勤

ARM 中国区总裁 谭军

Symbian 公司中国市场总监 卢竞

Altera 公司中国区总经理 徐平波

广州周立功单片机发展有限公司 周立功

《单片机与嵌入式系统应用》杂志社主编 何立民

北京麦克泰软件技术有限公司董事长 何小庆

中国软件行业协会嵌入式系统分会秘书长 郭淳学

华清远见嵌入式培训中心简介

- ◆ 国内首家获得 ARM 公司授权的专业嵌入式培训机构
- ◆ 微软全球嵌入式合作伙伴
- ◆ 国内首家 Symbian 公司授权培训中心
- ◆ 国内首家 Altera 公司全球合作培训机构
- ◆ 国内首家获得“高新企业认定”的 IT 培训机构
- ◆ 荣获“2008 年度中国嵌入式系统十佳企业”称号
- ◆ 中国软件行业协会嵌入式分会会员单位

华清远见嵌入式培训中心 (<http://www.farsight.com.cn>) 是一家以为企业和个人提供高端嵌入式培训解决方案为核心业务的国家高新技术企业。目前培训内容涉及的领域主要有嵌入式 Linux、Windows CE、VxWorks、Symbian、ARM、DSP、FPGA、高速 PCB 设计等, 基本覆盖嵌入式领域的各个层面。

该中心在嵌入式高端培训领域享有盛誉, 每年为包括 Samsung、NEC、PHILIPS、Motorola 等世界 500 强企业提供嵌入式企业培训服务, 目前已为近百家国内外企业实施过技术培训与咨询。同时华清远见也致力于嵌入式技术的推广, 每年有数万技术人员受益于华清远见的技术研讨会、远程教学课程、专题培训等。

序

嵌入式产业现已成为中国 IT 产业中的一个重要的新兴产业和增长点，主要表现在：产业持续快速增长；新产品、新技术更新速度加快；应用市场空间不断拓展，终端应用产品市场规模巨大；嵌入式技术不断进步；嵌入式产业发展环境不断改善。

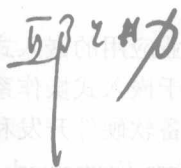
发展嵌入式技术可以全面提高“中国制造”核心竞争力，是实现“中国制造”向“中国创造”转变的良好契机。

工业和信息化部软件与集成电路促进中心（CSIP）作为国家软件与集成电路公共服务平台承载单位，秉承“促进产业发展，助力企业创新”的宗旨，以促进中国嵌入式产业的发展为己任，在嵌入式领域为国内广大企业提供政策保障、技术支持和培训服务，极大地促进了中国嵌入式相关产业的发展。

“国家信息技术紧缺人才培养工程系列丛书”由 CSIP 组织发起，在培养国家急需人才方面已经发挥了巨大作用，并将继续发挥巨大的作用。

嵌入式开发系列丛书是带领开发者进入嵌入式开发领域的最佳选择，希望能在嵌入式技术的普及、推广中发挥重大作用。

工业和信息化部软件与集成电路促进中心（CSIP）



工业和信息化部软件与集成电路 促进中心 (CSIP) 简介

工业和信息化部软件与集成电路促进中心是工业和信息化部的直属事业单位，依据信部编[2004]10号文件，工业和信息化部软件与集成电路促进中心的主要职责是：负责国家软件与集成电路公共服务平台的建设，为我国软件与集成电路产业和企业的健康发展提供公共、中立、开放的服务。

国家软件与集成电路公共服务平台：工业和信息化部领导建设的旨在引导产业发展，能对国家软件与集成电路产业和企业的发展起支撑和服务作用的公共、中立、开放的服务平台。解决单个企业想做而无法（无力）解决的问题，为企业创新和产业发展提供解决共性问题的环境，减少竞争前的企业技术基础投入，实现共性基础技术资源共享，降低企业在研发和质量保证方面的资金风险和技术门槛，促进遵从市场经济规律的软件与集成电路产业链的快速形成，让众多的软件和集成电路设计企业借其成长壮大，推动我国软件和集成电路产业做大做强。

嵌入式技术公共服务平台简介

嵌入式公共服务平台是国家软件与集成电路公共服务平台的重要组成部分，是国内嵌入式企业和开发者技术与知识的传播推广与服务平台，为微软、ARM、飞思卡尔、德州仪器、龙芯、东集、亿道电子、平望科技、英蓓特等嵌入式相关企业在国内联合开发与应用等开展合作，是嵌入式产品协作开发测试提供方。平台在嵌入式综合服务方面已具备以下服务业能力与特色。

- (1) 面向行业应用的嵌入式设备设计与方案定制。
- (2) 提供基于嵌入式操作系统及各类嵌入式处理器的软硬开发板。
- (3) 电子设备软硬件开发和服务外包。
- (4) .Net Micro Framework、Windows CE、Linux、Windows Mobile、Symbian 等嵌入式操作系统的驱动开发和支持。
- (5) 嵌入式综合测试业务。
- (6) 基于嵌入式技术的高级技术培训。

前言

内容要主并本

第 2 版说明

本书第 1 版《嵌入式 Linux 系统开发技术详解——基于 ARM》自 2006 年 8 月出版以来，受到了广大读者的一致好评，已经多次印刷，累计销量 11000 册。许多高等院校、职业学校和培训机构也将本书作为嵌入式专业的教材。许多读者提出宝贵的意见和中肯的建议。

第 2 版图书在第 1 版基础上做了以下的修订。

- 增加 PPT 教学课件：本书第 2 版增加了 PPT 教学课件，方便老师教学使用。
- 赠送嵌入式专家授课视频：本书第 2 版免费赠送超值的嵌入式教学视频，所讲内容均为嵌入式开发的热点内容。
- 内容调整：对书中过时的内容进行了升级，对书中的正文、图进行了大量的替换。

本书写作背景

随着 Linux 操作系统的发展，特别是 Linux 2.6 内核的迅速发展，嵌入式 Linux 在嵌入式领域的应用越来越广泛。Linux 具备源码开放、内核稳定高效、软件丰富等优势，而且还具备支持广泛的处理器结构和硬件平台、可定制性好、可靠性高等特点。

近年来，越来越多的学校开设嵌入式系统课程，还有不少学校专门开设了嵌入式专业。国内目前的嵌入式图书大多以理论讲解为主，缺少根据目前嵌入式技术实际应用将理论与实际操作相结合的图书。

编写本书的目的就是通过阐述嵌入式 Linux 系统的各组成部分，从概念上和实践上说明嵌入式 Linux 系统开发的基本过程。这本书可以帮助具备计算机基础知识的开发者迅速进入嵌入式系统开发领域。

希望本书能够帮助读者更好地理解嵌入式 Linux 系统，并且参与到嵌入式 Linux 系统开发中来。

如何学习嵌入式 Linux 系统

嵌入式领域是一个综合技术要求较高的技术领域，实际的嵌入式开发需要开发者掌握计算机体系结构、操作系统、多种芯片的原理结构、嵌入式 Linux 系统开发、嵌入式 Linux 内核等多种知识体系，因此造成了国内嵌入式开发人才极其缺乏的局面。

学习嵌入式系统首先要掌握常用嵌入式处理器、嵌入式操作系统、嵌入式编程语言,即 ARM 处理器、嵌入式 Linux 系统、嵌入式 C 语言,有了这些基础就可以进行嵌入式 Linux 应用开发、系统开发、驱动开发等的学习。

本书专门为那些已经有较全面的计算机基础,而又希望能快速进入嵌入式 Linux 相关行业的开发人员而编写,希望能帮助读者快速跨过嵌入式开发的门槛。

本书主要内容

本书以嵌入式 Linux 系统开发流程为主线,剖析了嵌入式 Linux 系统构建的各个环节。从嵌入式系统基础知识和 Linux 编程技术讲起,接下来说明了建立嵌入式 Linux 交叉开发环境,然后分析了嵌入式 Linux 系统的引导程序、内核和文件系统 3 大组成部分,最后介绍了嵌入式 Linux 系统集成和部署的方法。

第 1 章介绍了嵌入式系统和嵌入式操作系统的概况,讲述了嵌入式 Linux 发展历史和开发环境,概括说明了嵌入式 Linux 系统开发的特点。

第 2 章描述了 ARM 体系结构和 ARM Linux 的发展,介绍了几种应用 Linux 的典型 ARM 处理器和开发板。

第 3 章介绍了 Linux 编程常用的工具, Makefile 语法规则,还有 binutils、gcc 和 gdb 等工具的用法。

第 4 章介绍了嵌入式交叉开发环境的概念和配置,说明了应用程序交叉开发和调试的基本方法。

第 5 章介绍了编译生成 GNU 工具链的基本步骤。

第 6 章介绍了 Bootloader 的类型及特点,详细分析了 U-Boot 的使用、编译和移植。

第 7 章介绍了 Linux 2.6 内核的特点和 Kbuild 管理方式,说明了内核基本的配置选项的用法。

第 8 章以 ARM 平台为例介绍了内核移植的基本方法,并且详细分析了 Linux 内核启动过程。

第 9 章介绍了各种 Linux 内核调试方法,为内核移植提供了有效的调试手段。

第 10 章介绍了 Linux 根文件系统的组织结构,并且分析了 init 进程调用文件系统脚本初始化的过程。

第 11 章介绍了嵌入式 Linux 系统常用的开源软件,包括系统工具、图形库、网络和串口应用程序等。

第 12 章介绍了系统集成测试需要的各种工具,主要包括系统跟踪、性能测试和内存测试 3 个方面。

第 13 章介绍了 Linux 系统部署的基本方法,分析了文件系统和存储介质的特点。

第 14 章以 S3C2410 处理器的 GPS 手持设备开发过程为例,介绍了嵌入式 Linux 系统软硬件的设计与开发。

适合的读者

本书可作为高等院校电子类、电气类、控制类专业高年级本科生、研究生学习嵌入式 Linux 的教材,也可供广大希望进入嵌入式领域科研和工程技术人员参考使用,还可作为广

大嵌入式 Linux 培训班的教材和教辅材料。

本书的阅读建议

根据本书的指导，读者可以自己动手构建嵌入式 Linux 开发环境和嵌入式 Linux 系统。这对于深刻理解和掌握嵌入式 Linux 开发是非常重要的。

嵌入式的开发与具体的硬件环境紧密相关，本书的内容以常见的 ARM9 S3C2410 平台为例来讲解。对于其他硬件平台可以触类旁通，通过分析具体的源代码学习。

本书之外的内容

本书内容来自北京华清远见科技信息有限公司 (www.farsight.com.cn) 的培训课程资料，有关本书的相关源代码和嵌入式 Linux 更多的资料、公开课视频，请参见 <http://www.farsight.com.cn/download/>。

本书由孙纪坤执笔，孙天泽为本书审定写作提纲，同时，参与本书编写工作的还有刘燕祎、周晶、周丰、梅乐夫、房明浩、王亮、门店宏、吴洋、石峰、张圣亮、邱文勋、刘鲲、矫津毅、林远长、董前程、朱飞、岂兴明、汤嘉立、刘变红、周建兴、刘会灯、张高煜、邓志宝、刘明辉、李鹏、白学明、步士建等。在此，对以上人员致以诚挚的谢意。

由于时间仓促，加之水平有限，书中的不足之处在所难免，敬请读者批评指正。本书责任编辑的联系方法是 huangyan@ptpress.com.cn，欢迎来信交流。

编者

2009年1月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统的定义与特点	1
1.2 常见的嵌入式操作系统	2
1.3 嵌入式 Linux 的发展历史	4
1.4 初步认识嵌入式 Linux 开发环境	5
1.5 嵌入式 Linux 系统开发要点	6
第 2 章 ARM 嵌入式处理器	8
2.1 初识 ARM	8
2.1.1 ARM 公司简介	9
2.1.2 ARM 体系结构基础	10
2.1.3 Linux 与 ARM 处理器	12
2.2 ARM 指令集	13
2.2.1 ARM 处理器的指令集概述	13
2.2.2 ARM 指令寻址方式	14
2.2.3 Thumb 指令概述	16
2.3 典型 ARM 处理器简介	16
2.3.1 Atmel AT91RM9200	16
2.3.2 Samsung S3C2410	17
2.3.3 TI OMAP1510/1610 系列	18
2.3.4 Freescale i.Mx21	21
2.4 典型的嵌入式系统开发平台——三星 S3C2410 开发板	22
第 3 章 Linux 编程环境	25
3.1 Linux 常用工具	25
3.1.1 Shell 简介	25
3.1.2 常用 Shell 命令	27
3.1.3 编写 Shell 脚本	34
3.1.4 正则表达式	39
3.1.5 Linux 程序编辑器	41

3.2	Makefile 简介	44
3.2.1	GNU make	44
3.2.2	Makefile 规则语法	46
3.2.3	Makefile 文件中变量的使用	47
3.3	二进制代码工具的使用	49
3.3.1	GNU Binutils 工具介绍	49
3.3.2	Binutils 工具软件使用	50
3.4	编译器 GCC 的使用	51
3.4.1	GCC 编译器介绍	51
3.4.2	GCC 编译选项解析	52
3.5	调试器 GDB 的使用技巧	57
3.5.1	GDB 调试器介绍	57
3.5.2	GDB 调试命令	58
3.6	Linux 编程库	62
3.6.1	Linux 编程库介绍	62
3.6.2	Linux 系统调用	63
3.6.3	Linux 线程库	65
第 4 章	嵌入式交叉开发环境	69
4.1	交叉开发环境介绍	69
4.1.1	交叉开发概念模型	69
4.1.2	目标板与主机之间的连接	70
4.1.3	文件传输	72
4.1.4	网络文件系统	73
4.2	安装交叉编译工具	73
4.2.1	获取交叉开发工具链	74
4.2.2	主机安装工具链	75
4.3	主机开发环境配置	75
4.3.1	主机环境配置	75
4.3.2	串口控制台工具	77
4.3.3	DHCP 服务	79
4.3.4	TFTP 服务	81
4.3.5	NFS 服务	81
4.4	启动目标板	83
4.4.1	系统引导过程	83
4.4.2	内核解压启动	84
4.4.3	挂接根文件系统	85
4.5	应用程序的远程交叉调试	86
4.5.1	交叉调试的模型	86
4.5.2	交叉调试程序实例	87

第 5 章 交叉开发工具链	89
5.1 工具链软件	89
5.1.1 相关软件工程	89
5.1.2 软件版本的匹配	90
5.1.3 工具链制作流程	92
5.2 制作交叉编译器	93
5.2.1 准备编译环境	93
5.2.2 编译 binutils	94
5.2.3 编译 GCC 的辅助编译器	95
5.2.4 编译生成 glibc 库	96
5.2.5 编译生成完整的 GCC 编译器	99
5.3 制作交叉调试器	100
5.3.1 编译交叉调试器	100
5.3.2 编译 gdbserver	101
第 6 章 Bootloader	102
6.1 Bootloader	102
6.1.1 Bootloader 介绍	102
6.1.2 Bootloader 的启动	103
6.1.3 Bootloader 的种类	105
6.2 U-Boot 编程	107
6.2.1 U-Boot 工程简介	107
6.2.2 U-Boot 源码结构	107
6.2.3 U-Boot 的编译	108
6.2.4 U-Boot 的移植	111
6.2.5 添加 U-Boot 命令	112
6.3 U-Boot 的调试	114
6.3.1 硬件调试器	114
6.3.2 软件跟踪	115
6.3.3 U-Boot 启动过程	117
6.3.4 U-Boot 与内核的关系	121
6.4 使用 U-Boot	126
6.4.1 烧写 U-Boot 到 Flash	126
6.4.2 U-Boot 的常用命令	127
6.4.3 U-Boot 的环境变量	133
第 7 章 配置编译 Linux 2.6 内核	135
7.1 Linux 内核特点	135
7.1.1 Linux 内核版本介绍	135
7.1.2 Linux 内核特点	135
7.1.3 Linux 2.6 内核新特性	136

008	7.2	配置编译内核源码	139
008	7.2.1	内核源码结构	140
008	7.2.2	内核配置系统	142
000	7.2.3	Kbuild Makefile	149
000	7.2.4	内核编译	160
000	7.2.5	内核编译结果	169
000	7.3	内核配置选项	170
000	7.3.1	使用配置菜单	170
000	7.3.2	基本配置选项	171
000	7.3.3	驱动程序配置选项	173
000	第 8 章	基于 ARM 的 Linux 内核移植	175
001	8.1	移植内核源码	175
001	8.1.1	移植前的准备工作	175
101	8.1.2	开发板内核移植	176
001	8.1.3	移植后的工作	184
001	8.2	Linux 内核启动过程分析	184
001	8.2.1	内核启动流程源代码分析	184
001	8.2.2	内核自引导程序	185
001	8.2.3	内核 vmlinux 入口	189
001	8.2.4	Linux 系统初始化函数分析	191
001	8.2.5	挂接根文件系统	195
001	8.2.6	初始化设备驱动	197
001	8.2.7	启动用户空间 init 进程	198
000	第 9 章	内核调试技术	200
000	9.1	内核调试方法	200
000	9.1.1	内核调试概述	200
000	9.1.2	学会分析内核源程序	201
000	9.1.3	调试方法介绍	201
000	9.2	内核打印函数	204
000	9.2.1	内核映像解压前的串口输出函数	204
000	9.2.2	内核错误报告子程序	206
000	9.2.3	内核打印函数	208
000	9.3	如何获取内核信息	214
000	9.3.1	使用系统请求键	214
000	9.3.2	通过/proc 接口	215
000	9.3.3	通过/sys 接口	216
000	9.3.4	通过 ioctl 方法	219
000	9.4	处理出错信息	220
000	9.4.1	oops 信息	220

9.4.2	panic	221
9.5	内核源码调试	223
9.5.1	KGDB 调试内核源代码	223
9.5.2	BDI2000 调试内核源代码	224
第 10 章	制作 Linux 根文件系统	229
10.1	根文件系统目录结构	229
10.1.1	FHS 目录结构	230
10.1.2	文件存放规则	233
10.2	添加系统文件	234
10.2.1	添加共享链接库	234
10.2.2	添加内核模块	236
10.2.3	添加设备文件	238
10.3	init 系统初始化过程	240
10.3.1	inittab 文件	240
10.3.2	System V init 启动过程	243
10.3.3	Busybox init 启动过程分析	245
10.4	定制文件系统	247
10.4.1	定制应用程序	247
10.4.2	配置应用程序自动启动	247
第 11 章	在嵌入式系统中充分利用开源软件	249
11.1	开放源代码工程介绍	249
11.1.1	Linux 系统和开源软件	250
11.1.2	开源软件的特点	251
11.2	Busybox 使用	252
11.2.1	Busybox 工程介绍	252
11.2.2	配置编译 Busybox	252
11.3	X11 图形系统	256
11.3.1	X Windows 介绍	256
11.3.2	Tiny-X 介绍	257
11.3.3	GTK 图形库	258
11.4	Qt 图形库	263
11.4.1	Qt 介绍	263
11.4.2	Qt/Embedded 介绍	265
11.4.3	Qt/Embedded 架构	266
11.4.4	Qt/Embedded 软件包与安装	267
11.5	MiniGUI 图形系统	269
11.5.1	MiniGUI 图形系统概述	269
11.5.2	MiniGUI 移植	270
11.6	MicroWindows 图形系统	276

11.7	Linux 下的网络应用	277
11.7.1	嵌入式设备的网络化	277
11.7.2	TCP/IP 协议概述	278
11.7.3	Linux 下的 Socket 编程	279
11.8	嵌入式 Linux 的串行通信	289
11.8.1	Linux 下的串口操作	289
11.8.2	Linux 串口编程实例	293
第 12 章	系统集成测试	298
12.1	系统集成测试	298
12.1.1	系统集成测试概述	298
12.1.2	系统集成测试要求	299
12.2	系统跟踪工具	299
12.2.1	为什么需要跟踪工具	299
12.2.2	Strace	300
12.2.3	Ltrace	300
12.2.4	LTT	301
12.3	系统性能测量工具	305
12.3.1	代码效率测量	305
12.3.2	LTP	308
12.3.3	LMbench	309
12.4	测量内存泄漏	310
12.4.1	mtrace	310
12.4.2	dmalloc	310
12.4.3	memwatch	312
12.4.4	YAMD	313
第 13 章	部署 Linux 系统	316
13.1	部署 Linux 系统概述	316
13.1.1	部署 Linux 系统的基本流程	316
13.1.2	部署 Linux 系统的关键问题	317
13.2	文件系统类型	317
13.2.1	EXT2/EXT3	317
13.2.2	JFS	319
13.2.3	cramfs	321
13.2.4	JFFS/JFFS2	323
13.2.5	YAFFS	324
13.3	存储设备	325
13.3.1	MTD 类型设备	325
13.3.2	磁盘类型设备	326
13.4	部署 Linux 系统	328

13.4.1	安装 MTD 工具	328
13.4.2	使用磁盘文件系统	329
13.4.3	使用 RAMDISK 设备	330
13.4.4	使用 MTD 设备和 JFFS2 文件系统	331
13.4.5	系统启动和升级	333
第 14 章	嵌入式 Linux 系统软硬件设计开发实例——GPS 系统	334
14.1	需求分析	334
14.2	系统硬件设计	336
14.3	系统软件设计	346
14.4	系统集成与部署	348