

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

罗怡桂 编著

嵌入式Linux 实践教程

清华大学出版社

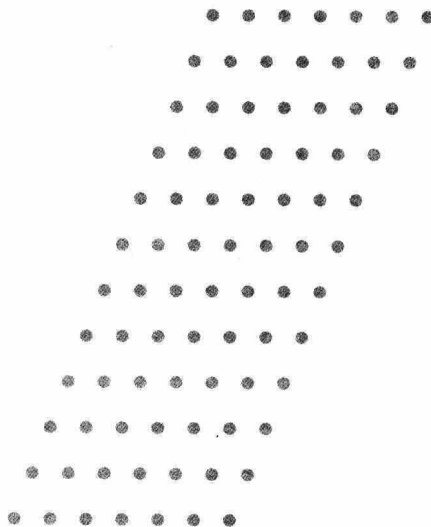


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

罗怡桂 编著

嵌入式Linux 实践教程



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书按“理论联系实践、分阶段循序渐进”的思想将内容分成了5个部分,共11章。第1部分是入门部分,分为2章,主要讲嵌入式系统、嵌入式Linux的发展、简单的实践。第2部分是开发环境的建立,分3章,主要讲U-Boot的建立、交叉编译工具的建立、调试环境的建立。第3部分是内核的定制,这一部分主要包括进程调度与内存管理2章,其目的为:一是学习Linux的内核技术,了解内核中的结构、函数,为后一部分嵌入式Linux驱动、应用程序的优化打基础;二是学习嵌入式Linux内核的定制技术,为今后高端嵌入式Linux设计与应用作准备。第4部分是嵌入式Linux驱动程序的开发,包括驱动的基本技术、USB驱动的开发与CAN总线驱动的开发。第5部分以字嵌千里眼中的应用程序为例讲嵌入式Linux应用程序的开发。在这5个部分中融合了嵌入式Linux的系统技术。本书的实践配套同济大学嵌入式系统创新实验平台及其操作手册,读者可以边做边学。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式Linux实践教程/罗怡桂编著. —北京:清华大学出版社,2011.6

(21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-27295-3

I. ①嵌… II. ①罗… III. ①Linux操作系统—程序设计 IV. ①TP316.89

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第228734号

责任编辑:刘向威 薛 阳

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12.75 字 数:315千字

版 次:2011年6月第1版 印 次:2011年6月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:26.00元

产品编号:021313-01

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培养“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人次。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整 and 教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教

材建设上；特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版，逐步形成精品教材；提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

诚如 Linux 的创始人 Linus Torvalds 所言：“我对嵌入式市场感兴趣，因为那里会有些别处找不到的特殊用途”。Linux 操作系统因为其性能良好、开放、稳定、日益进步的特点与嵌入式系统可定制的要求“一拍即合”。嵌入式 Linux 被广泛用于各种嵌入式设备中。

然而嵌入式 Linux 系统的学习是复杂的。其复杂性在于它涉及的知识面宽、理论性和实践性强。在本书中，试图将嵌入式 Linux 的学习分阶段进行，侧重于理论与实践的结合，强调动手实践。本书将嵌入式 Linux 的学习分为入门阶段、模块知识学习阶段、系统知识学习阶段与创新开发阶段。

本书的内容安排也体现了上述思想。第 1 部分是入门部分，分为 2 章，主要讲嵌入式系统、嵌入式 Linux 的发展、简单的实践。第 2 部分是开发环境的建立，分 3 章，主要讲 U-Boot 的建立、交叉编译工具的建立、调试环境的建立。第 3 部分是内核的定制，这一部分主要包括进程调度与内存管理两章。将这一部分安排到这里有两个目的：一是学习 Linux 的内核技术，了解内核中的结构、函数，为后一部分学习嵌入式 Linux 驱动、应用程序的优化打基础；二是学习嵌入式 Linux 内核的定制技术，为今后学习高端嵌入式 Linux 设计与应用做准备。第 4 部分是嵌入式 Linux 驱动程序的开发，包括驱动的基本技术、USB 驱动的开发与 CAN 总线驱动的开发。第 5 部分以“宇嵌千里眼”中的应用程序为例讲嵌入式 Linux 应用程序的开发。本书目前没有将系统技术单独列出作为一部分，而是将系统技术融合在各章节中，尤其是内核定制、驱动开发与应用程序设计中。本书的实践作业与同济大学嵌入式系统创新实验平台及其操作手册相配套。同时，嵌入式系统创新实验平台及手册支持读者进行创新实践开发。

本书的撰写得到上海宇嵌电子科技有限公司的大力支持：提供了宇嵌千里眼报警系统案例，授权使用部分相关代码，并对同济大学嵌入式系统创新实验平台及操作实践手册提供了配套服务(http://www.skyenest.com/tongji_platform.html)。

本书在编写过程中得到同济大学“十一五”教材编写资金的支持，并得到清华大学出版社、同济大学软件学院领导及同事的支持。

在本书的编写过程中，范茂志参与了第 3 章与第 10 章的部分编写工作，林秀参与了本书的部分编辑工作。

值此本书付梓之际，谨对上述支持者表示衷心感谢。

作为一本教材或者技术类参考书，本书面向的对象为嵌入式 Linux 系统的学习者、工

程师。本书以及配套的创新实验平台、实践操作手册构成一个学习与实践的完整体系。如果这一体系的设计能为读者朋友提供一些帮助,我将甚感欣慰。

非常欢迎读者朋友及同行提出各种意见、建议,在此先致以诚挚谢意!

罗怡桂

电子邮箱: yigui.luo@gmail.com

2011 年 4 月于上海嘉定汽车城

目 录

第 1 部分 嵌入式 Linux 入门

第 1 章 嵌入式 Linux 简介	3
1.1 嵌入式系统	3
1.1.1 什么是嵌入式系统	3
1.1.2 嵌入式系统的需求特点	4
1.2 嵌入式 Linux	5
1.2.1 Linux 与嵌入式 Linux	5
1.2.2 嵌入式 Linux 的现状	5
小结	6
实践作业 1	6
推荐阅读 1	6
第 2 章 嵌入式 Linux 系统的开发过程及简单实践	7
2.1 嵌入式 Linux 的开发环境	7
2.2 嵌入式 Linux 系统的开发过程	8
2.3 嵌入式教学创新实验平台简介	9
2.4 实践 1	9
2.5 实践 2	10
2.5.1 内核编译与下载	10
2.5.2 根文件系统的制作与下载	12
小结	12
实践作业 2	12
推荐阅读 2	12

第 2 部分 开发环境的建立

第 3 章 交叉编译环境的建立	15
3.1 什么是交叉编译环境	15

3.2	GCC 交叉编译工具链	15
3.3	重建交叉编译器	15
3.3.1	建立工作目录	16
3.3.2	建立环境变量	16
3.3.3	安装 Linux 的头文件	17
3.3.4	编译安装 Binutils	18
3.3.5	编译安装 Gcc 的 C 编译器	19
3.3.6	编译安装库 Glibc	19
3.3.7	编译安装 Gcc 的 C、C++ 编译器	20
3.3.8	测试交叉编译工具链	21
小结		21
实践作业 3		21
推荐阅读 3		22
第 4 章	U-Boot	23
4.1	U-Boot 项目简介	23
4.2	U-Boot 结构	23
4.3	U-Boot 的版本选择	24
4.4	编译 U-Boot	24
4.5	修改内存配置	25
4.6	配置 Flash	25
4.7	驱动 E28F128	28
4.8	驱动 DM9000	28
4.9	增加命令与应用	33
4.10	从 U-Boot 到 Linux	34
4.10.1	U-Boot 向内核传递参数	35
4.10.2	启动内核	37
小结		39
实践作业 4		40
推荐阅读 4		40
第 5 章	调试工具	41
5.1	GDB+GDB Server	41
5.2	二进制文件辅助工具	42

5.3 mtrace	45
5.4 hooks	46
5.5 硬件仿真器.....	48
小结	48
实践作业 5	48
推荐阅读 5	48

第 3 部分 内核定制

第 6 章 进程调度	51
6.1 嵌入式 Linux 进程调度概述	51
6.2 进程的描述.....	51
6.3 Linux 2.4 内核的调度算法	55
6.4 Linux 2.4 应用程序中对进程调度的控制	56
6.5 从 Linux 2.4 调度算法到 Linux 2.6 调度算法	57
6.6 Linux 2.6 调度算法分析	57
6.6.1 静态优先级	60
6.6.2 动态优先级	60
6.6.3 时间片的计算	61
6.6.4 休眠进程与唤醒进程	62
6.6.5 调度的时机	62
6.6.6 Linux 2.6 内核中 CPU 的负载平衡	63
6.6.7 调度策略	64
6.6.8 内核算法的调优	64
6.7 从 Linux 2.6 调度算法到嵌入式 Linux 调度	65
6.7.1 关键性混杂实时任务集调度算法	65
6.7.2 最大利用便携设备后备电池的实时任务调度算法	66
6.7.3 基于 GUI 的交互式嵌入式系统的调度	69
小结	69
实践作业 6	70
推荐阅读 6	70
第 7 章 内存管理	72
7.1 Linux 内存管理概述	72

7.2 物理内存管理	73
7.3 内核内存管理	75
7.4 虚拟内存管理器	78
7.5 内核虚拟内存管理器	81
7.6 从 Linux 内存管理到嵌入式 Linux 内存管理	82
7.6.1 调度协助请页预取	83
7.6.2 主动交换延迟回写	84
7.6.3 改进 Buddy 系统	85
小结	85
实践作业 7	86
推荐阅读 7	86

第 4 部分 驱动开发

第 8 章 驱动开发	89
8.1 基础知识	89
8.1.1 文件与设备	89
8.1.2 虚拟文件系统	89
8.1.3 设备驱动的加载	90
8.2 框架驱动开发	91
8.3 中断使用	92
8.3.1 Linux 内核的中断处理机制	92
8.3.2 中断的申请	93
8.4 内存使用	95
8.4.1 分配 Slab 小块内存	95
8.4.2 分配物理页	97
8.4.3 内核虚拟地址空间分配	98
8.4.4 Bootmem	98
8.4.5 虚拟内存区(VMA)与内存映射	100
8.5 IO 及 IO 映射	101
8.6 时间与时延使用	102
8.6.1 时钟的类型	102
8.6.2 延迟的使用	104

8.6.3 内核定时器	106
小结	107
实践作业 8	107
推荐阅读 8	108
第 9 章 USB 驱动开发	109
9.1 USB 概述	109
9.2 USB 总线互连结构	109
9.3 USB 的电气接口	109
9.4 USB 数据流模型	110
9.5 USB 设备通信模流	111
9.6 USB 驱动框架	115
9.7 URB 的使用	120
9.8 控制消息的传输	125
9.9 批量数据传输	127
9.10 同步数据传输	128
9.11 中断数据传输	128
9.12 嵌入式系统 USB 设备驱动的实现方案设计	129
9.12.1 传输方式的确定	129
9.12.2 建模	131
9.12.3 数据流分析	132
9.12.4 控制流分析	134
9.12.5 内存使用分析	134
9.12.6 调试方案	135
9.12.7 实现技术	135
9.12.8 模块划分	135
9.12.9 实现	136
小结	137
实践作业 9	137
推荐阅读 9	137
第 10 章 CAN 总线驱动开发	138
10.1 CAN 总线标准概述	138
10.2 CAN 总线特点	138

10.3	CAN 总线的数据格式	139
10.4	一种 CAN 总线系统的实现方法	141
10.5	MCP2510 器件功能介绍	141
10.6	CAN 总线驱动程序的方案设计	142
10.6.1	CAN 总线驱动程序的体系结构	142
10.6.2	CAN 总线驱动程序建模	143
10.7	CAN 总线的 Linux 驱动程序的实现	144
10.7.1	S3C2410 寄存器地址映射	144
10.7.2	CAN 总线驱动的入口和出口	145
10.7.3	设置 SPI 接口	148
10.7.4	MCP2510 的初始化	150
10.7.5	MCP2510 发送数据和接收数据	153
10.7.6	中断函数	154
10.7.7	读写函数	154
10.8	CAN 总线驱动测试程序	156
小结		158
实践作业 10		158
推荐阅读 10		158

第 5 部分 应用程序的开发

第 11 章	字嵌千里眼主控程序开发	161
11.1	嵌入式应用程序的需求特点	161
11.2	字嵌千里眼应用开发的要求	161
11.3	字嵌千里眼主控程序开发实践	162
11.3.1	建模	162
11.3.2	控制流分析	162
11.3.3	数据流分析	163
11.3.4	内存使用分析	164
11.3.5	实时性分析	164
11.3.6	进一步确定实现技术	164
11.3.7	模块划分	165
11.3.8	再看实现技术	165

11.3.9 程序实现	167
小结	171
实践作业 11	171
推荐阅读 11	172
附录 A 一种新型 Petri Net: 双层变迁定时 Petri Net	173
附录 B 双层变迁定时 Petri Net 抽象化	181

第 1 部分 嵌入式 Linux 入门

嵌入式系统经常出现在我们的生活中,嵌入式 Linux 也已经使用在一些嵌入式产品中,只是因为它们是“嵌入”的,我们全然不知道这里竟然有计算机系统,有“嵌入式 Linux”。我们将揭开这一层神秘的面纱,使读者通过学习能从一个产品的使用者转变为这些产品的开发者与研究者。

这一部分主要介绍嵌入式系统的需求特点、嵌入式 Linux 的发展、嵌入式 Linux 系统的开发过程、嵌入式 Linux 的简单实践,以形成嵌入式系统的概念,了解嵌入式 Linux 在行业中的发展,找到嵌入式 Linux 系统学习的方向,了解嵌入式 Linux 系统在整个嵌入式设备开发过程中的位置。通过初步的实践,体验嵌入式 Linux 系统的基本开发环境与开发步骤,为后续的学习开好头。

第 1 章 嵌入式 Linux 简介

1.1 嵌入式系统

1.1.1 什么是嵌入式系统

嵌入式系统是嵌入在一个设备中为该设备的应用而定制的计算机系统。

常见的嵌入式系统有手机、PDA、电子眼、单反照相机、汽车电子、机器人等等。这些各式各样的嵌入式系统,按照应用领域可以分为以下几类。

1. 工业控制

为工业生产服务的控制设备,例如通常在工厂见到的流水线控制、机器人手臂等。

2. 军事电子设备与武器

嵌入式系统在现代军事电子设备中扮演着非常重要的角色。从导弹的制导系统到战斗机的瞄准器,从潜艇的声纳控制系统到单兵的通信系统,都是嵌入式系统的用武之地。

3. 网络通信设备

现代社会离不开网络,网络通信的众多设备,如路由器、交换机、网络交换设备、网络摄像机、嵌入式网关等都是嵌入式系统。

4. 安防电子产品

平安社会、和谐社区离不开安防科技的发展。安防摄像机、智能信息处理机等都是典型的嵌入式系统。

5. 消费电子产品

随着后 PC 时代的到来,各种消费电子产品有着强大的网络与多媒体处理能力。人性化的界面操作、强大的数字处理能力、简洁实用的外观都是这类嵌入式产品的重要特点。其中,将嵌入式计算机引入到冰箱、洗衣机、空调等传统家电而形成的信息家电,随着三网融合而发展起来的家庭信息接入终端等等,一个个火热的市场已让人们对于未来嵌入式产品的发展充满了期待。

另外,物联网同样是一个嵌入式计算大显身手的市场。从智能传感器到智能网络节点,从多媒体自动跟踪到智能无线网的自组网都离不开嵌入式计算。物联网的应用跨越了安防、消费电子、环保节能、工业控制等领域,是未来发展的一个强大引擎。