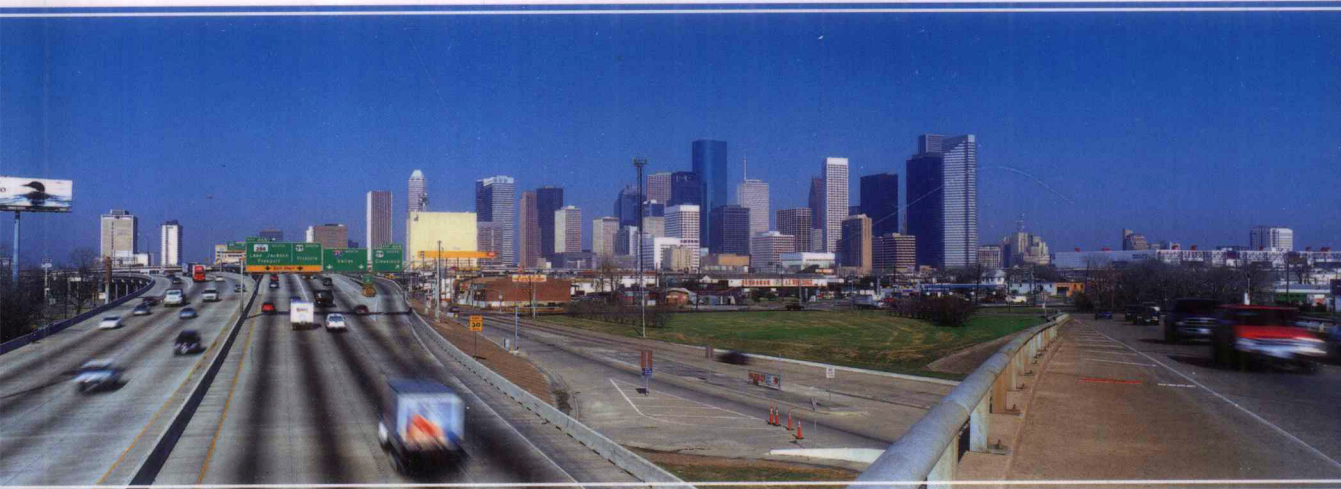


高等院校嵌入式人才培养规划教材
Gaodeng Yuanxiao Qianrushi Rencai Peiyang Guihua Jiaocai

嵌入式 Linux 操作系统

华清远见嵌入式学院 孙天泽 主编



Qianrushi
Linux Caozuo Xitong

原理编程结合

重视实际应用

全部代码示例

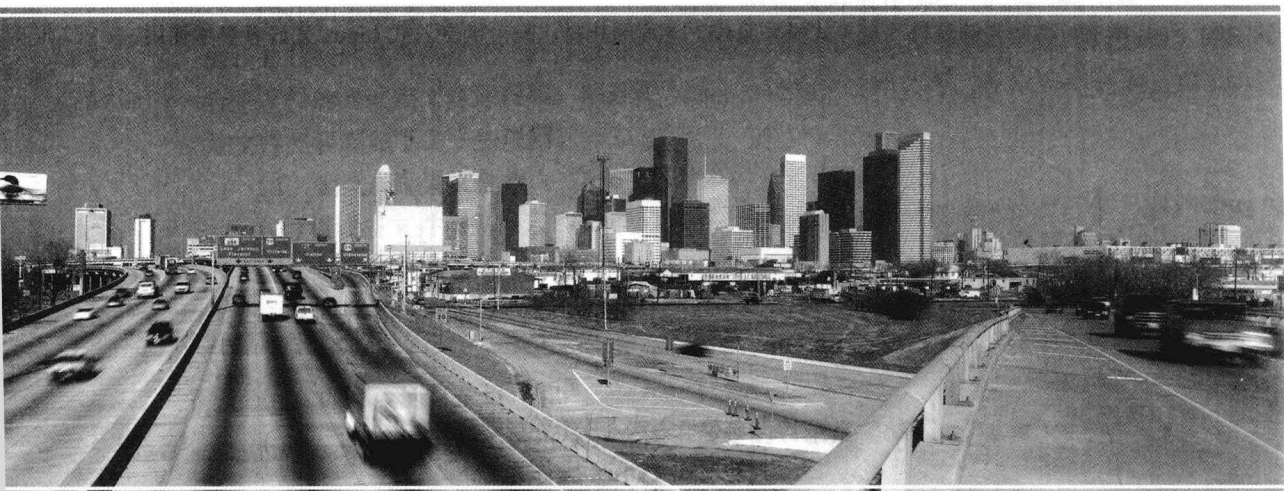
16.81

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等院校嵌入式人才培养规划教材
Gaodeng Yuanxiao Qianrushi Rencai Peiyang Guihua Jiaocai

嵌入式 Linux 操作系统

华清远见嵌入式学院 孙天泽 主编



Qianrushi
Linux Caozuo Xitong

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式Linux操作系统 / 孙天泽主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009.8
高等院校嵌入式人才培养规划教材
ISBN 978-7-115-21108-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第119514号

内 容 提 要

本书介绍了操作系统的几大组成部分, 并以 Linux 操作系统为例说明了各功能的实现。

全书共分 10 章, 内容包括嵌入式 Linux 操作系统概念, Linux 系统安装与使用, 操作系统的存储管理、进程管理、文件管理、设备管理等几个核心模块, 其中涉及对 Linux 内核代码的部分分析介绍。在本书最后一章, 综合介绍了开发嵌入式 Linux 系统的全过程, 包括建立开发环境、编译 Bootloader、编译内核、部署根文件系统等全过程。

本书可作为高等院校“嵌入式操作系统”课程的教材, 也可供嵌入式 Linux 爱好者参考使用。

高等院校嵌入式人才培养规划教材

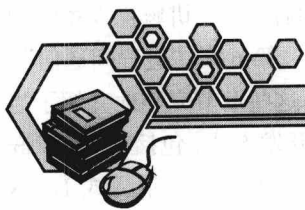
嵌入式 Linux 操作系统

- ◆ 主 编 华清远见嵌入式学院 孙天泽
责任编辑 潘春燕
执行编辑 郭 晶
- ◆ 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>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.25
字数: 390 千字 2009 年 8 月第 1 版
印数: 1-3 000 册 2009 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21108-8

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



随着消费群体对产品要求的日益提高,嵌入式技术在机械器具制造、电子产品制造、通信、信息服务等行业领域得到了大显身手的机会,应用日益广泛,相应地企业对嵌入式人才的需求也越来越多。因此近几年来,各高等院校开始纷纷开设嵌入式专业或课程。但是,各院校在嵌入式专业教学建设的过程中几乎都面临教材难觅的困境。虽然目前市场上的嵌入式开发相关书籍比较多,但几乎都是针对有一定基础的行业内研发人员而编写的,并不完全符合学校的教学要求。学校教学需要一套充分考虑学生现有知识基础和接受度的,明确各门课程教学目标的,便于学校安排课时的嵌入式专业教材。

针对教材缺乏的问题,我们以多年来在嵌入式工程技术领域内人才培养、项目研发的经验为基础,汇总了近几年积累的数百家企业对嵌入式研发相关岗位的真实需求,调研了数十所开设“嵌入式工程技术”专业的高等院校的课程设置情况、学生特点和教学用书现状。通过细致的整理和分析,对专业技能和基本知识进行合理划分,我们编写了这套高等院校嵌入式人才培养规划教材,包括以下5本:

《ARM 嵌入式体系结构与接口技术》

《 μ C/OS II 嵌入式操作系统》

《嵌入式 Linux 操作系统》

《嵌入式 Linux C 语言开发》

《嵌入式应用程序设计》

本套教材按照专业整体教学要求组织编写,各自对应的主干课程之间既相对独立又有机衔接,整套教材具有系统性。《ARM 嵌入式体系结构与接口技术》侧重介绍接口技术;在操作系统教材方面,考虑到各院校不同的教学侧重点,编写了 μ C/OS II 和 Linux 两个版本;考虑到本专业对学生 C 语言能力要求较高,编写了《嵌入式 Linux C 语言开发》这本少课时的教材,可供“C 语言基础”课程的后续提高课程使用;《嵌入式应用程序设计》介绍了贯穿前面所学知识的实训内容,供“Linux 应用开发”课程使用。

本书是其中之一。操作系统是计算机系统中最重要系统软件,是计算机科学与技术相关专业的核心课程。操作系统课程中涉及的概念、原理是从事嵌入式开发人员必备的知识。

操作系统理论深奥,是计算机专业中较难掌握的一门课程。加之以往的操作系统教材多以理论介绍为主,很少涉及操作系统源代码,通过学习,学生只掌握了一些简单的概念,对操作系统的基本原理没有掌握很透彻,学习效果不好。本书从原理和编程实现两个方面讲解操作系统科学,旨在帮助学生加深对操作系统原理的理解,主要以 Linux 操作系统为例,分别说明了操作系统中有关进程管理、内存管理、文件管理、设备管理等几大核心功能,本书注重实用,使学生达到学用结合的目的。



本书共 10 章，内容分为两大部分。第一部分是操作系统原理相关内容，主要讲解操作系统的原理和 Linux 实现，包括第 4 章“存储管理”、第 5 章“操作系统进程”、第 6 章“进程间通信”、第 7 章“中断与系统调用”、第 8 章“文件管理”、第 9 章“设备管理”。这些章节完整地介绍了当代操作系统应有的功能。第二部分讲解嵌入式 Linux 操作系统的使用与开发方法，包括第 1 章“嵌入式 Linux 操作系统简介”、第 2 章“Linux 操作系统使用与系统配置”、第 3 章“嵌入式 Linux 编程环境”、第 10 章“嵌入式 Linux 的构建”。

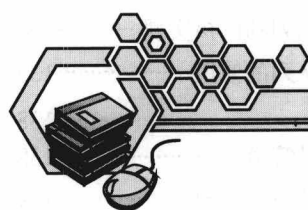
本书由孙天泽主编并统校全稿。本书的完成需要感谢华清远见嵌入式学院，教材内容参考了学院与嵌入式企业需求无缝对接的、科学的专业人才培养体系。同时，嵌入式学院从业或执教多年的行业专家团队也对教材的编写工作做出了贡献，刘洪涛、曾宏安、穆煜、赵苍明、季久峰、胡波、贾燕枫等老师在书稿的编写过程中认真阅读了所有章节，提供了大量在实际教学中积累的重要素材，对教材结构、内容提出了中肯的建议，并在后期审校工作中提供了很多帮助，在此表示衷心的感谢。

本书所有源代码、PPT 课件、教学素材等辅助教学资料，请到 www.ptpedu.com.cn 下载。

由于作者水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。对于本书的批评和建议，可以发到 www.embedu.org 技术论坛。

编者

2009 年 7 月



第 1 章 嵌入式 Linux 操作系统

简介 1

1.1 操作系统 1

1.2 嵌入式系统 3

1.3 嵌入式操作系统 3

1.4 嵌入式 Linux 基础 5

1.4.1 Linux 发展概述 5

1.4.2 Linux 作为嵌入式操作系统的优势 6

1.4.3 Linux 发行版本 7

1.4.4 如何学习 Linux 7

1.5 Linux 安装 8

1.5.1 基本概念 8

1.5.2 硬件需求 9

1.5.3 安装准备 10

1.5.4 安装过程 10

1.6 Linux 文件及文件系统 16

1.6.1 文件类型及文件属性 16

1.6.2 文件系统类型介绍 18

1.6.3 Linux 目录结构 18

思考题 20

第 2 章 Linux 操作系统使用与

系统配置 21

2.1 Linux 基本命令 21

2.1.1 用户系统相关命令 22

2.1.2 文件目录相关命令 27

2.1.3 压缩打包相关命令 36

2.1.4 比较合并文件相关命令 38

2.1.5 网络相关命令 42

2.2 Linux 系统服务 46

2.2.1 独立运行的服务 46

2.2.2 xinetd 设定的服务 47

2.2.3 设定服务命令的常用方法 47

思考题 48

第 3 章 嵌入式 Linux 编程环境 49

3.1 Linux 编辑器 vi 的使用 49

3.1.1 vi 的模式 49

3.1.2 vi 的基本流程 50

3.1.3 vi 各模式的功能键 51

3.2 gcc 编译器 52

3.2.1 gcc 编译流程解析 52

3.2.2 gcc 编译选项分析 54

3.3 gdb 调试器 57

3.3.1 gdb 使用流程 57

3.3.2 gdb 基本命令 60

3.4 Make 工程管理器 63

3.4.1 Makefile 基本结构 64

3.4.2 Makefile 变量 64

3.4.3 Makefile 规则 67

3.4.4 Make 管理器的使用 68

3.5 使用 autotools 68

3.5.1 autotools 使用流程 69

3.5.2 使用 autotools 所生成的 Makefile 72

思考题 73

第 4 章 存储管理 74

4.1 进程虚存空间的管理 74

4.1.1 进程的虚存区域 75

4.1.2 虚存空间的映射和虚存区域的建立 77

4.2 内存空间/地址类型 78

4.3 分页机制与 MMU 79



4.4	高速缓存	81	6.5.2	消息队列的内核实现	134
4.5	内存区域 zone	82	6.5.3	消息队列的使用	135
4.6	获得内存页面	85	6.6	管道	138
4.7	slab 分配器	89	6.6.1	什么是管道	138
4.8	kmalloc	92	6.6.2	管道的内核实现	139
4.9	高端内存	93	6.6.3	管道的读写规则	140
4.10	虚拟内存的申请和释放	94	思考题		141
	思考题	96	第 7 章 中断与系统调用		142
第 5 章 操作系统进程		97	7.1	什么是中断	142
5.1	进程的基本概念	97	7.2	嵌入式平台硬件中断特点	143
5.2	Linux 系统进程	98	7.3	Linux 内核中断机制概述	144
5.2.1	Linux 进程基础	98	7.4	编写中断处理程序 ISR	146
5.2.2	进程描述符	100	7.4.1	中断处理系统结构	146
5.2.3	进程的状态与转换	102	7.4.2	注册中断处理函数	147
5.2.4	进程队列指针	105	7.4.3	中断标志 flags	149
5.2.5	进程队列的全局变量	107	7.4.4	ISR 上下文	149
5.3	Linux 进程的创建	108	7.5	Tasklet 机制	149
5.4	Linux 进程相关的系统调用	111	7.6	上半部和下半部	152
5.4.1	execve()系统调用	112	7.6.1	上半部和下半部的设计	152
5.4.2	wait()系统调用	116	7.6.2	中断处理程序的不可 重入性	152
5.4.3	exit()系统调用	116	7.7	工作队列	153
5.5	Linux 的进程调度	117	7.8	系统调用	154
5.6	实时 Linux	118	7.8.1	初始化系统调用	154
	思考题	119	7.8.2	system_call 函数	156
第 6 章 进程间通信		121	7.8.3	参数的传递与验证	159
6.1	什么是进程间通信	121	思考题		160
6.2	互斥与同步	122	第 8 章 文件管理		161
6.3	信号量	123	8.1	磁盘的物理组织	161
6.3.1	什么是信号量	123	8.2	文件和目录	162
6.3.2	信号量的内核实现	124	8.2.1	文件的分类	162
6.3.3	信号量的使用	128	8.2.2	目录	163
6.4	共享内存	130	8.2.3	文件系统	164
6.4.1	什么是共享内存	130	8.3	虚拟文件系统	164
6.4.2	共享内存的内核实现	131	8.3.1	虚拟文件系统概述	164
6.4.3	共享内存的使用	131	8.3.2	VFS 超级块	165
6.5	消息队列	134	8.3.3	文件控制块	169
6.5.1	什么是消息队列	134			



8.3.4	VFS 的目录项	175	9.3.7	操作 I/O 端口	199
8.3.5	文件对象	177	9.3.8	Linux 逻辑 I/O 与设备驱动程序的接口	200
8.3.6	主要数据结构间的关系	180	思考题		204
8.4	文件系统注册与卸载	181	第 10 章 嵌入式 Linux 的构建		205
8.4.1	和文件系统相关的数据结构	181	10.1 嵌入式开发环境的搭建		205
8.4.2	文件系统类型注册函数	184	10.1.1 嵌入式交叉编译环境的搭建		205
8.4.3	挂载文件系统	184	10.1.2 超级终端和 Minicom 配置及使用		207
8.4.4	文件系统卸载	185	10.1.3 下载映像到开发板		212
思考题		185	10.1.4 编译嵌入式 Linux 内核		215
第 9 章 设备管理		186	10.1.5 Linux 内核目录结构		218
9.1 设备及设备管理的功能		186	10.1.6 制作文件系统		218
9.1.1 设备分类		186	10.2 Bootloader 介绍		221
9.1.2 设备管理		187	10.2.1 U-Boot 概述		224
9.2 I/O 内核子系统		187	10.2.2 U-Boot 的常用命令		225
9.2.1 I/O 系统的基本功能		188	10.3 嵌入式 Linux 根文件系统构建		231
9.2.2 I/O 空间		188	10.3.1 根文件系统目录结构		231
9.2.3 I/O 控制方式		192	10.3.2 FHS 目录结构		232
9.3 Linux 设备驱动程序		193	10.3.3 文件存放规则		235
9.3.1 设备管理		194	思考题		235
9.3.2 Linux 字符设备		194	参考文献		236
9.3.3 Linux 块设备		195			
9.3.4 Linux 网络接口		196			
9.3.5 Linux 设备文件		196			
9.3.6 Linux 设备注册与注销		198			

第 1 章

嵌入式 Linux 操作系统简介

在所有的操作系统中，Linux 是发展最快、应用最为广泛的之一。Linux 本身的种种特性使其成为嵌入式开发者的首选。在进入市场的头两年中，嵌入式 Linux 设计通过广泛应用获得了巨大的成功。随着技术的成熟，Linux 提供对更小尺寸和更多类型的处理器的支持，并从早期的试用阶段迈进到嵌入式的主流。

本章对操作系统的一些基本概念、Linux 操作系统的基本情况进行了介绍，然后介绍了 Linux 的安装方法和最基本的文件系统的知识，使读者形成对 Linux 的初步认识和对本门课程所学内容的初步了解。

1.1 操作系统

操作系统 (Operating System, OS) 是计算机系统中负责支撑应用程序运行环境以及用户操作环境的系统软件，同时也是计算机系统的核心与基石。它的职责常包括对硬件的直接监管，对各种计算资源 (如内存、处理器时间等) 的管理，以及提供诸如作业管理之类的面向应用程序的服务等。

操作系统根据在用户界面的使用环境和功能特征的不同，一般可分为 3 种基本类型，即批处理操作系统、分时操作系统和实时操作系统。随着计算机体系结构的发展，又出现了许多种操作系统，它们是嵌入式操作系统、个人操作系统、网络操作系统和分布式操作系统。

1. 批处理操作系统

批处理 (Batch Processing) 操作系统的工作方式是，用户将作业交给系统操作员，系



统操作员将许多用户的作业组成一批作业，之后输入到计算机中，在系统中形成一个自动转接的连续的作业流，然后启动操作系统，系统自动、依次执行每个作业。最后由操作员将作业结果交给用户。

批处理操作系统的特点是多道和成批处理。

2. 分时操作系统

分时 (Time Sharing) 操作系统的工作方式是，一台主机连接了若干个终端，每个终端有一个用户在使用。用户交互式地向系统提出命令请求，系统接受每个用户的命令，采用时间片轮转方式处理服务请求，并通过交互方式在终端上向用户显示结果。用户根据上步结果发出下道命令。分时操作系统将 CPU 的时间划分成若干个片段，称为时间片。操作系统以时间片为单位，轮流为每个终端用户服务。每个用户轮流使用一个时间片而使每个用户并不感到有别的用户存在。分时系统具有多路性、交互性、独占性和及时性的特征。多路性是指同时有多个用户使用一台计算机，宏观上看是多人同时使用一个 CPU，微观上是多个人在不同时刻轮流使用 CPU。交互性是指用户根据系统响应结果进一步提出新请求 (用户直接干预每一步)。独占性是指用户感觉不到计算机为其他人服务，就像整个系统为他所独占。及时性是指系统对用户提出的请求及时响应。

常见的通用操作系统是分时系统与批处理系统的结合。其原则是分时优先，批处理在后。前台响应需频繁交互的作业，如终端的要求；后台处理时间性要求不强的作业。

3. 实时操作系统

实时操作系统 (Real Time Operating System, RTOS) 是指使计算机能及时响应外部事件的请求，在规定的严格时间内完成对该事件的处理，并控制所有实时设备和实时任务协调一致地工作的操作系统。实时操作系统要追求的目标是对外部请求在严格时间范围内做出反应，有高可靠性和完整性。

4. 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统 (Embedded Operating System) 是运行在嵌入式系统环境中，对整个嵌入式系统以及它所操作、控制的各种部件装置等资源进行统一协调、调度、指挥和控制的系统软件。

5. 个人计算机操作系统

个人计算机操作系统是一种单用户多任务的操作系统。它主要供个人使用，功能强，价格便宜，可以在几乎任何地方安装使用，能满足一般操作、学习、游戏等方面的需求。个人计算机操作系统的主要特点是计算机在某一时间内为单个用户服务；采用图形界面人机交互的工作方式，界面友好；使用方便，用户无需专门学习，也能熟练操作。

6. 网络操作系统

网络操作系统是基于计算机网络的，是在各种计算机操作系统上按网络体系结构协议标准开发的软件，包括网络管理、通信、安全、资源共享和各种网络应用。其目标是相互通信及资源共享。

7. 分布式操作系统

大量的计算机通过网络被连接在一起，可以获得极高的运算能力及广泛的数据共享。这种系统被称为分布式系统 (Distributed System)。

操作系统的主要功能简单总结为操作系统位于底层硬件与用户之间，是两者沟通的桥梁。用户可以通过操作系统的用户界面输入命令。操作系统则对命令进行解释，驱动硬件设备，实现用户要求。



1.2 嵌入式系统

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，适用于应用系统，对功能、可靠性、成本、体积、功耗等方面有特殊要求的专用计算机系统。

嵌入式系统与通用计算机系统的本质区别在于系统应用不同。嵌入式系统是将一个计算机系统“嵌入”对象系统。这个对象可能是庞大的机器，也可能是小巧的手持设备，用户并不关心这个计算机系统的存在。

嵌入式系统一般包含嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统和应用程序 4 个部分。嵌入式领域已经有丰富的软硬件资源可以选择，涵盖了通信、网络、工业控制、消费电子、汽车电子等各种行业。

嵌入式计算机系统与通用计算机系统相比具有如下特点。

(1) 嵌入式系统是面向特定系统应用的。嵌入式处理器大多数是专门为特定应用设计的，具有功耗低、体积小、集成度高等特点，一般是包含各种外围设备接口的片上系统。

(2) 嵌入式系统涉及计算机技术、微电子技术、电子技术、通信、软件等各行各业。它是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

(3) 嵌入式系统的硬件和软件都必须具备高度可定制性，只有这样才能适用嵌入式系统应用的需要，在产品价格、性能等方面具备竞争力。

(4) 嵌入式系统的生命周期相当长。当嵌入式系统应用到产品以后，还可以进行软件升级，它的生命周期与产品的生命周期几乎一样长。

(5) 嵌入式系统不具备本地系统开发能力，通常需要有一套专门的开发工具和环境。

在计算机后 PC 技术时代，嵌入式系统将拥有最大的市场。计算机和网络已经全面渗透到日常生活的每一个角落。各种各样的新型嵌入式系统设备在应用数量上已经远远超过通用计算机，任何一个普通人可能拥有从大到小的各种使用嵌入式技术的电子产品，小到 MP3、PDA 等微型数字化产品，大到网络家电、智能家电、车载电子设备。而在工业和服务领域中，使用嵌入式技术的数控机床、智能工具、工业机器人、服务机器人也将逐渐改变传统的工业和服务方式。

美国著名的未来学家尼葛洛庞帝在 1999 年访华时曾预言，4~5 年后嵌入式系统将是继 PC 和 Internet 之后最伟大的发明。这个预言已经成为现实，现在的嵌入式系统正处于高速发展阶段。

1.3 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统的一个重要特性是实时性。所谓实时性，就是在确定的时间范围内响应某个事件的特性。操作系统的实时性在某些领域是至关重要的，如工业控制、航空航天等领域。想象飞机正在空中飞行，如果嵌入式系统不能及时响应飞行员的控制指令，那么极有可能导致空难事故。有些嵌入式系统应用并不需要绝对的实时性，如 PDA 播放音乐，个别音频数据丢失并不影响效果，这可以使用软实时的概念来衡量。

据调查，目前全世界的嵌入式操作系统已经有 200 多种。从 20 世纪 80 年代开始，出现了一些商用嵌入式操作系统，它们大部分都是为专有系统而开发的。随着嵌入式领域的发展，各种各样的嵌入式操作系统会相继问世。有许多商用嵌入式操作系统，也有大量开放源码的嵌入式操作



系统。其中著名的嵌入式操作系统有 Linux、 μ C/OS、Windows CE、VxWorks 和 QNX 等，下面分别进行介绍。

1. Linux

根据 IDC 的报告，Linux 已经成为全球第二大操作系统。预计在服务器市场上，Linux 在未来几年内将以每年 25% 的速度增长，中国的 Linux 市场更是保持 40% 左右的增长速度。而在 Linux 操作系统方面，IDC 对中国在 2001 ~ 2006 年的市场预测发现，其市场占有率从 2001 年的 4.47% 平稳地上升到 2006 年的 26.77%。

嵌入式 Linux 版本还有多种变体。例如，RTLINUX 通过改造内核实现了实时的 Linux；RTAI、Kurt 和 Linux/RK 也提供了实时能力； μ CLinux 去掉了 Linux 的 MMU（内存管理单元），能够支持没有 MMU 的处理器。

2. μ C/OS

μ C/OS 是一个典型的实时操作系统。该系统从 1992 年开始发展，目前流行的是第二个版本，即 μ C/OS II。它的特点是公开源代码，代码结构清晰，注释详尽，组织有条理，可移植性好；可裁剪，可固化；抢占式内核，最多可以管理 60 个任务。该系统短小精悍，是研究和学习实时操作系统的首选。

3. Windows CE

Windows CE 是微软公司的产品，它是从整体上为有限资源的平台设计的多线程、完整优先权、多任务的操作系统。Windows CE 采用模块化设计，并允许它对从掌上电脑到专用的工控电子设备进行定制。操作系统的基本内核需要至少 200KB 的 ROM。从 SEGA 的 DreamCast 游戏机到现在大部分的高价掌上电脑都采用了 Windows CE。

随着嵌入式操作系统领域日益激烈的竞争，微软公司不得不应付来自 Linux 等免费系统的冲击。微软公司在 Windows CE.Net 4.2 版中，将增加一项授权价仅 3 美元的精简版本 Windows CE.Net Core。Windows CE.Net Core 具有基本的功能，包括实时 OS 核心（Real Time OS Kernel）、档案系统、IPv4、IPv6、WLAN、蓝牙等联网功能，Windows Media Codec，.Net 开发框架以及 SQL Server.ce。微软公司推出低价版本 Windows CE.Net，主要是看好语音电话、WLAN 的无线桥接器和个性化视听设备的成长潜力。

4. VxWorks

VxWorks 是 WindRiver 公司专门为实时嵌入式系统设计开发的操作系统软件，为程序员提供了高效的实时任务调度、中断管理，实时的系统资源以及实时的任务间通信。应用程序员可以将尽可能多的精力放在应用程序本身，而不必再去关心系统资源的管理。该系统主要应用在单板机、数据网络（以太网交换机、路由器）、通信方面等诸多方面。其核心功能如下。

- (1) 微内核 wind。
- (2) 任务间通信机制。
- (3) 网络支持。
- (4) 文件系统和 I/O 管理。
- (5) POSIX 标准实时扩展。
- (6) C++ 以及其他标准支持。

这些核心功能可以与 WindRiver 系统的其他附件和 Tornado 合作伙伴的产品结合在一起使用。谁都不能否认这是一个非常优秀的实时系统，但其昂贵的价格使不少厂商望而却步。



5. QNX

QNX 也是一款实时操作系统,由加拿大 QNX 软件系统有限公司开发。它广泛应用于自动化、控制、机器人科学、电信、数据通信、航空航天、计算机网络系统、医疗仪器设备、交通运输、安全防卫系统、POS 机、零售机等任务关键型应用领域。20 世纪 90 年代后期, QNX 系统在高速增长 Internet 终端设备、信息家电及掌上电脑等领域也得到了广泛应用。

QNX 的体系结构决定了它具有非常好的伸缩性,用户可以把应用程序代码和 QNX 内核直接编译在一起,使之成为简单的嵌入式应用生成一个单一的多线程映像。它也是世界上第一个遵循 POSIX1003.1 标准从零设计的微内核,因此具有非常好的可移植性。

嵌入式操作系统的选择是前期设计过程的一项重要工作,这将影响到工程后期的发布以及软件的维护。首先,不管选用什么样的系统,都应该考虑操作系统对硬件的支持,如果选择的系统不支持将来要使用的硬件平台,那这个系统是不合适的;其次,要考虑的是开发调试用的工具,特别是对于开销敏感和技术水平不强的企业来说,开发工具往往在开发过程中起决定性作用;第三,要考虑的问题是该系统能否满足应用需求。如果一个操作系统提供的 API 很少,那么无论这个系统有多么稳定,应用层很难进行二次开发,这显然也不是开发人员希望看到的。由此可见,选择一款既能满足应用需求,性价比又可达到最佳的实时操作系统,对开发工作的顺利开展意义非常重大。

1.4 嵌入式 Linux 基础

随着摩托罗拉手机 A760、IBM 智能型手表 WatchPad、夏普 PDA Zaurus 等一款款高性能“智能数码产品”的出现,以及三星、MontaVista、飞利浦、诺基亚、IBM、SUN 等众多品牌的加入,嵌入式 Linux 的队伍越来越庞大了。在通信、信息、数字家庭、工业控制等领域,随处都能见到嵌入式 Linux 的身影。

究竟是什么原因让嵌入式 Linux 发展如此迅速呢?又究竟是什么原因让它能与强劲的 VxWorks、Window CE 相抗衡呢?这一切还是要归根于 Linux。可以说,嵌入式 Linux 正是继承和发展了 Linux 的诱人之处才走到今天的,而 Linux 也正是有了嵌入式 Linux 的广泛应用才使其更加引人注目。以下就从 Linux 开始,一层层揭开嵌入式 Linux 的面纱。

1.4.1 Linux 发展概述

简单地说, Linux 是指一套免费使用和自由传播的类 UNIX 操作系统。人们通常所说的 Linux 是指 Linus Torvalds 所写的 Linux 操作系统内核。

当时的 Linus 还是芬兰赫尔辛基大学的一名学生,他主修的课程中有一门课是操作系统,而且这门课是专门研究程序的设计和和执行。最后这门课程提供了一种称为 Minix 的初期 UNIX 系统。Minix 是一款仅为教学而设计的操作系统,而且功能有限。因此,和 Minix 的众多使用者一样, Linus 也希望它能给它添加一些功能。

在之后的几个月里, Linus 根据实际的需要,编写了磁盘驱动程序以便下载访问新闻组的文件,又写了个文件系统以便能够阅读 Minix 文件系统中的文件。这样,“当你有了任务切换,有了文件系统和设备驱动程序后,这就是 UNIX,或者至少是其内核”。于是, 0.0.1 版本的 Linux 就诞



生了。

Linus 从一开始就决定自由传播 Linux，他把源代码发布在网上，于是，众多的爱好者和程序员也都通过互联网加入 Linux 的内核开发工作。这个思想与 FSF（Free Software Foundation）资助发起的 GNU（GNU's Not UNIX）的自由软件精神不谋而合。

GNU 是为了推广自由软件的精神以实现一个自由的操作系统，然后从应用程序开始，实现其内核。而当时 Linux 的优良性能备受 GNU 的赏识，于是 GNU 就决定采用 Linus 及其开发者的内核。在他们的共同努力下，Linux 这个完整的操作系统诞生了。其中的程序开发共同遵守 GPL（General Public License）协议，这是最开放也是最严格的许可协议方式，这个协议规定了源码必须可以无偿地获取并且修改。因此，从严格意义上说，Linux 应该称为 GNU/Linux，其中许多重要的工具如 gcc、gdb、make、Emacs 等都是 GNU 的贡献。

这个“婴儿版”的操作系统以平均两星期更新一次的速度迅速成长，如今的 Linux 已经有超过 250 种发行版本，且可以支持所有体系结构的处理器，如 x86、PowerPC、ARM、XSCALE 等，也可以支持带 MMU 或不带 MMU 的处理器。到目前为止，它的内核版本也已经从原先的 0.0.1 发展到现在的 2.6.xx。

1.4.2 Linux 作为嵌入式操作系统的优势

从 Linux 系统的发展过程可以看出，Linux 从最开始就是一个开放的系统，并且它始终遵循着源代码开放的原则，它是一个成熟而稳定的网络操作系统，作为嵌入式操作系统的优势如下。

1. 低成本开发系统

Linux 的源码开放性允许任何人可以获取并修改 Linux 的源码。这样一方面大大降低了开发的成本，另一方面又可以提高开发产品的效率。并且还可以在 Linux 社区中获得支持，用户只需向邮件列表发一封邮件，即可获得作者的支持。

2. 可应用于多种硬件平台

Linux 可支持 x86、PowerPC、ARM、XSCALE、MIPS、SH、68K、Alpha、SPARC 等多种体系结构，并且已经被移植到多种硬件平台。这对于经费、时间受限制的研究与开发项目是很有吸引力的。Linux 采用一个统一的框架对硬件进行管理，同时从一个硬件平台到另一个硬件平台的改动与上层应用无关。

3. 可定制的内核

Linux 具有独特的内核模块机制，它可以根据用户的需要，实时地将某些模块插入或移出内核，并能根据嵌入式设备的个性需要量体裁衣。经裁剪的 Linux 内核最小可达到 150KB 以下，尤其适合嵌入式领域中资源受限的实际情况。当前的 2.6 内核加入了许多嵌入式友好特性，如构建用于不需要用户界面的设备的小占板面积内核选项。

4. 性能优异

Linux 系统内核精简、高效和稳定，能够充分发挥硬件的功能，因此它比其他操作系统的运行效率更高。在个人计算机上使用 Linux 时，可以将它作为工作站。它也非常适合在嵌入式领域中应用，对比其他操作系统，它占用的资源更少，运行更稳定，速度更快。

5. 良好的网络支持

Linux 是首先实现 TCP/IP 协议栈的操作系统，它的内核结构在网络方面是非常完整的，并提



供了对包括 10 吉比特、100 吉比特及 1000 吉比特的以太网，还有无线网络、Token Ring（令牌环）和光纤甚至卫星的支持，这对现在依赖于网络的嵌入式设备来说无疑是很好的选择。

1.4.3 Linux 发行版本

由于 Linux 属于 GNU 系统，而这个系统采用 GPL 协议，并保证了源代码的公开。于是众多组织或公司在 Linux 内核源代码的基础上进行了一些必要的修改加工，然后再开发一些配套的软件，并把它整合成一个自己的发布版 Linux。除去非商业组织 Debian 开发的 Debian GNU/Linux 外，美国的 Red Hat 公司发行了 Red Hat Linux，法国的 Mandrake 公司发行了 Mandrake Linux，德国的 SUSE 公司发行了 SUSE Linux，国内众多公司也发行了中文版的 Linux，如著名的红旗 Linux。Linux 目前已经有超过 250 个发行版本。

下面仅对 Red Hat、Debian、Mandrake 等有代表性的 Linux 发行版本进行介绍。

1. Red Hat

全世界的 Linux 用户最熟悉的发行版想必就是 Red Hat 了。Red Hat 最早是由 Bob Young 和 Marc Ewing 在 1995 年创建的。目前 Red Hat 分为两个系列：由 Red Hat 公司提供收费技术支持和更新的 Red Hat Enterprise Linux（RHEL，Red Hat 的企业版），以及由社区开发的免费的桌面版 Fedora Core。

Red Hat 企业版有 3 个版本——AS、ES、WS。AS 是其中功能最为强大和完善的版本。而正統的桌面版 Red Hat 版本更新早已停止，最后一版是 Red Hat 9.0。本书就以稳定性高的 RHEL AS 作为安装实例进行讲解。

其主页是 <http://www.redhat.com/>。

2. Debian

之所以把 Debian 单独列出，是因为 Debian GNU/Linux 是一个非常特殊的版本。在 1993 年，伊恩·默多克（Ian Murdock）发起 Debian 计划，它的开发模式和 Linux 及其他开放性源代码操作系统的精神一样，都是由超过 800 位志愿者通过互联网合作开发而成的。一直以来，Debian GNU/Linux 被认为是最正宗的 Linux 发行版本，而且它是一个完全免费的、高质量的且与 UNIX 兼容的操作系统。

Debian 系统分为 3 个版本，分别为稳定版（Stable）、测试版（Testing）和不稳定版（Unstable）。并且每次发布的版本都是稳定版，而测试版在经过一段时间的测试证明没有问题后会成为新的稳定版。Debian 拥有超过 8 710 种不同的软件，而且每一种软件都是自由的，而且有非常方便的升级安装指令，基本囊括了用户的需要。Debian 也是最受欢迎的嵌入式 Linux 之一。

其主页是 <http://www.debian.org/>。

3. 国内的发行版本及其他

目前国内的红旗、新华等都发行了自己的 Linux 版本。

除了前面所提到的这些版本外，业界还存在着诸如 gentoo、LFS 等适合专业人士使用的版本。在此不做介绍，有兴趣的读者可以自行查找相关资料作进一步的了解。

1.4.4 如何学习 Linux

正如人们常说的“实践出真知”，学习 Linux 的过程也一样。只有通过大量的动手实践才能真



正地领会 Linux 的精髓，才能迅速掌握在 Linux 上的应用开发，相信有编程语言经验的读者一定会认同这一点。因此，在本书中笔者安排了大量的实验环节和课后实践环节，希望读者尽可能多参与。

另外要指出的是，互联网也是一个很好的学习工具，一定要充分地加以利用。正如编程语言一样，实践的过程中总会出现各种各样的问题希望读者能充分利用互联网这一共享的天空，在其中寻找答案。国内的一些 Linux 论坛如下。

<http://www.linuxfans.org>

<http://www.linuxforum.net/>

<http://www.linuxeden.com/forum/>

<http://www.newsmth.net>

1.5 Linux 安装

有了一个初步的了解后，读者是否想亲自试一下？其实安装 Linux 是一件很容易的事情，不过在开始安装之前，还需要了解一下在 Linux 安装过程中可能遇到的一些基本知识以及它与 Windows 的区别。

1.5.1 基本概念

1. 文件系统、分区和挂载

文件系统是指操作系统中与管理文件有关的软件和数据。Linux 的文件系统和 Windows 中的文件系统有很大的区别，Windows 文件系统是以驱动器的盘符为基础的，而且每一个目录是与相应的分区对应，如“E:\workplace”是指此文件在 E 盘这个分区下。而 Linux 恰好相反，文件系统是一个文件树，且它的所有文件和外部设备（如硬盘、光驱等）都是以文件的形式挂载在这个文件树上，如“\usr\local”。对于 Windows 而言，就是指所有分区都是在一些目录下。总之，在 Windows 下，目录结构属于分区；Linux 下，分区属于目录结构。其关系如图 1.1 和图 1.2 所示。

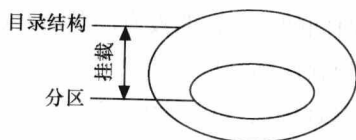


图 1.1 Linux 下目录与分区关系

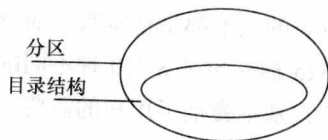


图 1.2 Windows 下目录与分区关系

因此，在 Linux 中把每一个分区和某一个目录对应，以后在对这个目录的操作就是对这个分区的操作，这样就实现了硬件管理手段和软件目录管理手段的统一。这个把分区和目录对应的过程称为挂载（Mount），而这个挂载在文件树中的位置就是挂载点。这种对应关系可以由用户随时中断和改变。

2. 主分区、扩展分区和逻辑分区

硬盘分区是针对一个硬盘进行操作的，它可以分为主分区、扩展分区、逻辑分区。其中主分区就是包含操作系统启动所必需的文件和数据的硬盘分区，要在硬盘上安装操作系统，则该硬盘



必须要有一个主分区，而且其主分区的数量可以是 1~3 个；扩展分区也就是除主分区外的分区，但它不能直接使用，必须再将它划分为若干个逻辑分区才可使用，其数量可以有 0 或 1 个；而逻辑分区则在数量上没有什么限制。它们的关系如图 1.3 所示。

一般而言，对于先装了 Windows 的用户，则 Windows 的 C 盘是装在主分区上的，可以把 Linux 安装在另一个主分区或者扩展分区上。通常为了安装方便、安全起见，一般采用把 Linux 装在多余的逻辑分区上，如图 1.4 所示。

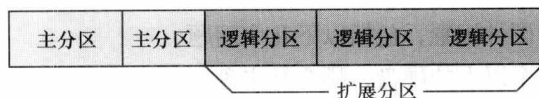


图 1.3 Linux 下主分区、扩展分区、逻辑分区示意图

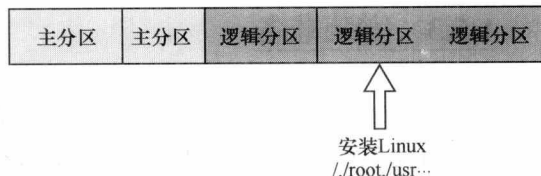


图 1.4 Linux 安装的分区的示意图

3. swap 交换分区

在硬件条件有限的情况下，为了运行大型的程序，Linux 在硬盘上划出一个区域来当作临时的内存，而 Windows 操作系统把这个区域称为虚拟内存，Linux 把它称为交换分区 swap。在安装 Linux 建立交换分区时，一般将其设为内存大小的 2 倍，当然也可以设为更大。

4. 分区格式

不同的操作系统选择了不同的格式，同一种操作系统也可能支持多种格式。微软公司的 Windows 就选择了 FAT32、NTFS 两种格式，但是 Windows 不支持 Linux 上常见的分区格式。Linux 是一个开放的操作系统，它最初使用 ext2 格式，后来使用 ext3 格式，但是它同时支持非常多的分区格式，包括很多大型机上 UNIX 使用的 XFS 格式，也包括微软公司的 FAT 和 NTFS 格式。

5. GRUB

GRUB 是一种引导装入器（类似在嵌入式中非常重要的 Bootloader）——它负责装入内核并引导 Linux 系统，位于硬盘的起始部分。由于 GRUB 多方面的优越性，如今的 Linux 一般都默认采用 GRUB 来引导 Linux 操作系统。但事实上它还可以引导 Windows 等多种操作系统。

6. root 权限

Linux 也是一个多用户的系统（在这一点上类似 Windows XP），不同的用户和用户组会有不同的权限，其中把具有超级权限的用户称为 root 用户。root 的默认主目录在“/root”下，而其他普通用户的目录则在“/home”下。root 的权限极高，它甚至可以修改 Linux 的内核，因此建议初学者要慎用 root 权限，不然一个小小参数的设置错误很有可能导致系统的严重问题。

1.5.2 硬件需求

Linux 对硬件的需求非常低。如果要是只想在字符方式下运行，那么一台 386 的计算机已经可以用来安装 Linux 了；如果想运行 X-Windows，那也只需要一台 16MB 内存，600MB 硬盘的 486 计算机即可。这听起来比那些需要 256MB 内存，2.0GHz 的操作系统要好得多，事实上也正是如此。

现在，软件和硬件行业的发展趋势是让用户购买计算速度更快的计算机，不断扩充内存和硬