

高等院校嵌入式人才培养规划教材

Gaodeng Yuanxiao Qianrushi Rencai Peiyang Guihua Jiaocai

# 嵌入式操作系统

## (Linux篇)

华清远见嵌入式学院 程姚根 苗德行 主编



## Embedded Operating System (Linux)

写给嵌入式专业的Linux操作系统教材

立足基础，结合应用，循序渐进

配备拓展阅读材料和经典操作视频



DVD-ROM

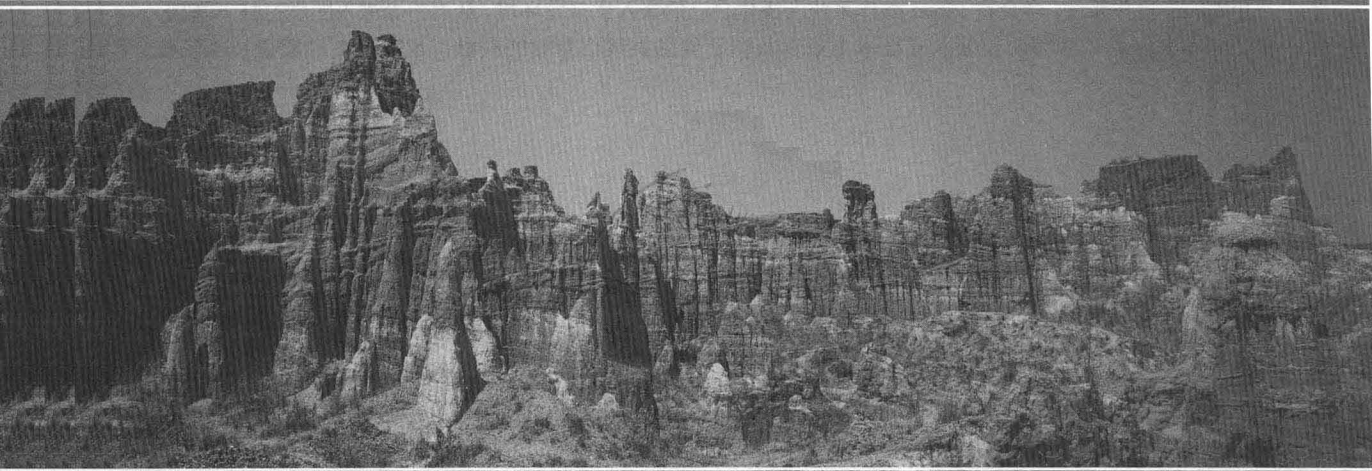
 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

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

# 嵌入式操作系统

## (Linux篇)

华清远见嵌入式学院 程姚根 苗德行 主编



Embedded Operating  
System (Linux)

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式操作系统. Linux篇 / 程姚根, 苗德行主编

— 北京 : 人民邮电出版社, 2014. 2

高等院校嵌入式人才培养规划教材

ISBN 978-7-115-33628-6

I. ①嵌… II. ①程… ②苗… III. ①实时操作系统—高等学校—教材②Linux操作系统—高等学校—教材  
IV. ①TP316.2②TP316.89

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第292013号

## 内 容 提 要

本书介绍了 Linux 操作系统对软件、网络、文件系统、用户、中断及设备的管理机制以及 Linux 系统环境 shell 语言、Makefile 的编写。本书主要以 Linux 实践为主,旨在帮助不了解 Linux 系统的读者学会使用 Linux 操作系统,学会在 Linux 操作系统上搭建自己的嵌入式开发环境,从而为更深入的学习打下基础。

本书可作为高等院校嵌入式技术专业以及电子信息类其他专业的教材,也可供中等职业技术学院使用。



- 
- ◆ 主 编 华清远见嵌入式学院 程姚根 苗德行  
责任编辑 王 威  
责任印制 杨林杰
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 16 2014年2月第1版  
字数: 408千字 2014年2月北京第1次印刷
- 

定价: 48.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

# 前言

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，各高职高专院校开始纷纷开设嵌入式专业或方向。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”专业的高职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：

《嵌入式技术基础》

《ARM 嵌入式体系结构与接口技术》

《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》

经过了 4 年，嵌入式行业发生了巨大变化，产品也进行了升级，而高校中的嵌入式专业也日臻成熟，首批教材有些已无法满足新的需要。所以本次对原有教材进行修订和扩充。

本书作为嵌入式专业的 Linux 操作系统教材，全书共分为 9 章。第 1 章嵌入式 Linux 操作系统简介，主要介绍常用的嵌入式 Linux 操作系统和 Linux 操作系统安装方法；第 2 章 Linux 操作系统的使用，主要介绍 Linux 操作系统的一些常用命令；第 3 章 Linux 软件管理，主要介绍 Linux 软件管理的机制以及如何在 Linux 下安装和卸载软件；第 4 章 Linux 用户管理，主要介绍 Linux 对用户的管理机制以及不同用户在 Linux 操作系统中拥有的权限；第 5 章 Linux 文件系统，主要介绍 Linux 操作系统支持的文件系统种类，以及 Linux 文件系统的框架；第 6 章 Linux 网络配置管理，主要介绍 Linux 中网络的常用配置方法，以及常用网络服务开启的方法；第 7 章嵌入式 Linux 编程环境，主要介绍在嵌入式开发中，在 Linux 上搭建的开发环境的方法；第 8 章 shell 编程，主要介绍 Linux 下 shell 语言的基本语法以及如何去写 shell 脚本；第 9 章中断与设备管理，主要介绍 Linux 内核对外围硬件设备

和中断管理的机制。全书整个章节的设置主要是让不了解 Linux 操作系统的读者掌握 Linux 操作系统的使用方法和实现机制。

本书由程姚根、苗德行、冯建三人合作完成。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，在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，孙天泽、刘洪涛、曾宏安、穆煜、赵苍明、季久峰、贾燕枫、关晓强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，请登录人民邮电出版社教学服务与资源网（[www.ptpedu.com.cn](http://www.ptpedu.com.cn)）下载。

由于编者水平所限，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](http://www.embedu.org) 技术论坛。

编者

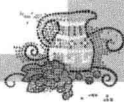
2013 年 9 月

# 目 录

<b>第 1 章 嵌入式 Linux 操作系统简介</b> .....	<b>1</b>
1.1 操作系统.....	1
1.1.1 操作系统的基本概念.....	1
1.1.2 操作系统的主要组成.....	3
1.2 嵌入式系统与通用 PC 系统的不同.....	5
1.3 嵌入式操作系统.....	6
1.4 嵌入式 Linux 基础.....	8
1.4.1 Linux 发展概述.....	8
1.4.2 Linux 作为嵌入式操作系统的优势.....	10
1.4.3 Linux 发行版本.....	11
1.5 Linux 系统安装.....	12
1.5.1 文件系统和硬盘分区概念.....	12
1.5.2 安装准备.....	14
1.5.3 安装过程.....	15
1.6 安装虚拟机工具.....	31
1.7 配置 vim 编辑环境.....	38
思考题.....	38
<b>第 2 章 Linux 操作系统的使用</b> .....	<b>39</b>
2.1 认识 Shell.....	39
2.2 Shell 命令的格式.....	41
2.2.1 命令提示符.....	41
2.2.2 命令格式.....	41
2.3 Linux 命令.....	42
2.3.1 用户系统相关命令.....	42
2.3.2 文件、目录相关命令.....	47
2.3.3 压缩打包相关命令.....	57



2.3.4 文件比较命令 diff	60
2.4 Linux 环境变量	63
思考题	65
<b>第 3 章 Linux 软件管理</b>	<b>66</b>
3.1 Linux 系统的软件管理机制	66
3.1.1 常用软件包管理工具简介	66
3.1.2 软件的安装与卸载	70
3.1.3 静态软件包的管理	73
3.1.4 如何制作一个软件包	77
3.2 APT 高级软件包管理工具	79
3.2.1 APT 的运行机制	79
3.2.2 3 个重要的配置文件	81
3.2.3 apt-get 工具集	82
3.2.4 apt-cache 工具集	89
<b>第 4 章 Linux 用户管理</b>	<b>95</b>
4.1 什么是用户	95
4.1.1 用户的属性	95
4.1.2 用户与组	96
4.1.3 相关的配置文件	96
4.2 管理命令	98
4.2.1 创建用户	98
4.2.2 删除用户	99
4.2.3 修改属性	99
4.2.4 组管理	100
4.2.5 用户间通信	101
4.3 磁盘配额	101
4.3.1 什么是磁盘配额	101
4.3.2 相关命令	102
4.3.3 应用实例	104
<b>第 5 章 Linux 文件系统</b>	<b>108</b>
5.1 文件和目录	108
5.1.1 Linux 文件的分类	108
5.1.2 Linux 目录结构	109
5.2 文件系统	110
5.3 文件系统体系结构	111
5.4 使用 BusyBox 制作根文件系统	113



5.4.1	配置与编译 BusyBox	113
5.4.2	制作 initrd 镜像	114
	思考题	118
<b>第 6 章</b>	<b>Linux 网络配置管理</b>	<b>119</b>
6.1	网络基础知识介绍	119
6.1.1	IP 地址	119
6.1.2	子网掩码	120
6.1.3	网关	120
6.1.4	DNS 服务器	121
6.2	Linux 系统网络配置	121
6.2.1	ifconfig 命令	122
6.2.2	dhclient 命令	124
6.2.3	修改配置文件来配置 IP 地址、网关、子网掩码	125
6.2.4	配置 DNS 服务器	126
6.3	Linux 系统常用网络服务配置	127
6.3.1	TFTP 服务	127
6.3.2	NFS 服务	130
6.3.3	SSH 服务	134
6.3.4	Samba 服务	138
	思考题	140
<b>第 7 章</b>	<b>嵌入式 Linux 编程环境</b>	<b>141</b>
7.1	Linux 编辑器 vi 的使用	141
7.1.1	vi 的工作模式	142
7.1.2	使用 vi 的基本流程	142
7.1.3	vi 的模式按钮说明	144
7.2	gcc 编译器	147
7.2.1	gcc 编译流程及编译选项分析	147
7.2.2	gcc 编译选项分析	149
7.3	gdb 调试器	151
7.3.1	gdb 使用流程	152
7.3.2	gdb 命令行参数	156
7.3.3	gdb 基本命令	157
7.4	Make 工程管理器	162
7.4.1	Makefile 基本规则	162
7.4.2	Makefile 假目标	167
7.4.3	Makefile 变量	168
7.4.4	Makefile 函数	170





思考题	174
<b>第 8 章 Shell 编程</b>	<b>175</b>
8.1 认识 Shell 脚本	175
8.2 Shell 脚本的基本语法	176
8.2.1 开头	176
8.2.2 执行	176
8.2.3 注释	177
8.2.4 变量	177
8.2.5 Shell 程序和语句	183
8.2.6 Shell 函数	195
8.2.7 Shell 脚本调用	197
8.3 Shell 俄罗斯方块游戏	198
8.3.1 方块定义	198
8.3.2 方块移动	203
8.3.3 随机数	211
8.3.4 随机方块移动	215
8.3.5 随机方块降落	221
<b>第 9 章 中断及设备管理</b>	<b>228</b>
9.1 什么是中断	228
9.2 嵌入式平台硬件中断特点	229
9.3 Linux 内核中断机制概述	233
9.3.1 中断处理系统结构	237
9.3.2 注册中断处理函数	238
9.3.3 中断标志 flags	240
9.3.4 ISR 上下文	241
9.4 设备及设备管理的功能	241
9.4.1 设备分类	241
9.4.2 设备管理	242
9.4.3 Linux 字符设备	242
9.4.4 Linux 块设备	244
9.4.5 Linux 网络接口	244
9.4.6 Linux 设备文件	245
思考题	247

# 第1章

## 嵌入式 Linux 操作系统简介

Linux 是发展最快、应用最广泛的操作系统之一。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 提供了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嵌入式的主流。

### 1.1 操作系统

#### 1.1.1 操作系统的基本概念

操作系统（Operating System, OS）是管理和控制计算机硬件与软件资源的计算机程序，它是直接运行在“裸机”上的最基本的系统软件，任何其他软件都必须在操作系统的支持下才能运行。换句话说，操作系统是用户和计算机的接口，同时也是计算机硬件和其他软件的接口。操作系统的功能包括管理计算机系统的硬件、软件及数据资源，控制程序运行，改善人机界面，为其他应用软件提供支持等，以使计算机系统所有资源最大限度地发挥作用。现代操作系统提供了各种形式的用户界面，使得用户可以拥有一个好的工作环境，并且为其他软件的开发提供必要的服务和相应的接口，其关系说明如图 1-1 所示。

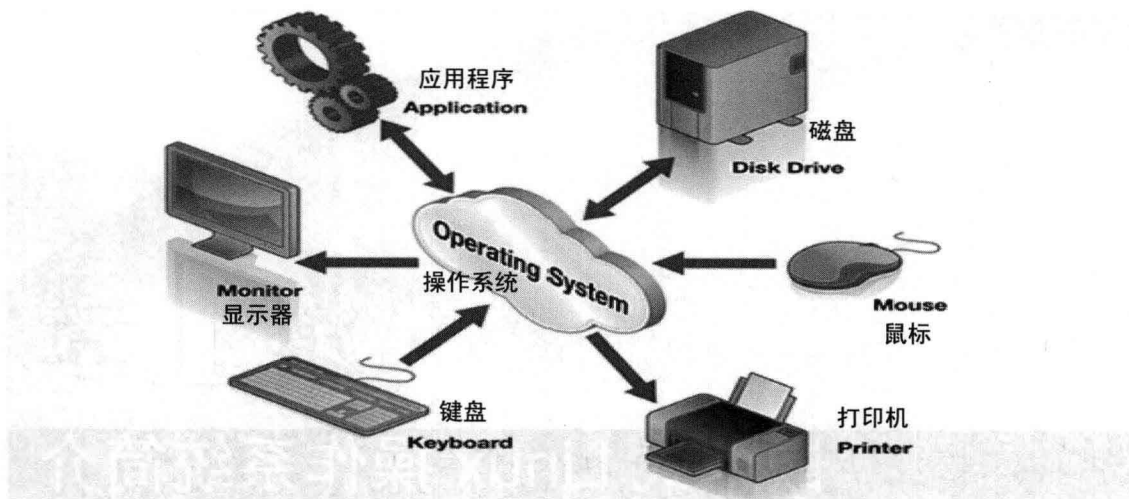


图 1-1

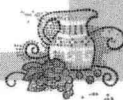
操作系统根据用户界面的使用环境和功能特征的不同,一般可分为 3 种基本类型,即批处理操作系统、分时操作系统和实时操作系统。随着计算机体系结构的发展,又出现了许多种操作系统,它们是嵌入式操作系统、个人操作系统、网络操作系统和分布式操作系统。目前流行的现代操作系统主要有 Android、BSD、iOS、Linux、Mac OS X、Windows、Windows Phone 和 z/OS 等,除了 Windows 和 z/OS 等少数操作系统,大部分操作系统都为类 UNIX 操作系统。

## 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通道和成批处理。

## 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,系统接收每个用户的命令,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,但微观上是多个人在不同时刻轮流使用 CPU。交互性是指用户可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。实时操作系统追求的目标是对外部请求在严格时间范围内做出反应，具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, EOS）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，用户无须专门学习，也能熟练操作。

### 6. 网络操作系统

网络操作系统基于计算机网络，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套件，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）。

总之，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。

## 1.1.2 操作系统的主要组成

对一个操作系统我们可以大致把它分为 4 部分：驱动程序、内核、接口库、外围，如图 1-2 所示。

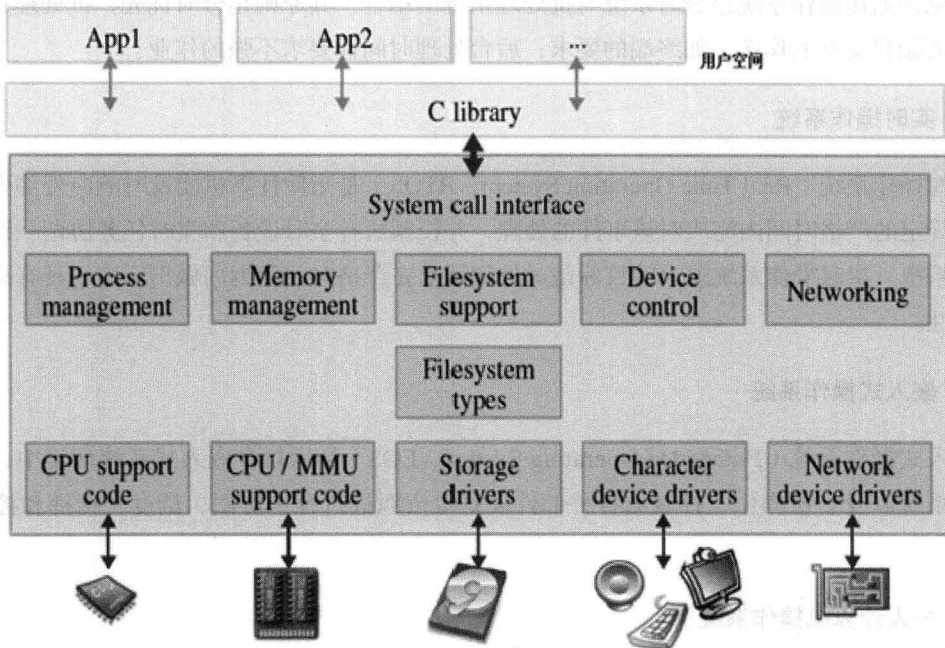
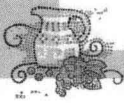


图 1-2

### 1. 驱动程序

驱动程序是操作系统最底层的、直接控制和监视各类硬件的部分，它们的职责是隐藏硬件的具体细节，并向其他部分提供一个抽象的、通用的接口。

### 2. 内核

内核为操作系统之最核心部分，包括进程管理、内存管理、文件系统管理、设备管理等核心单元。其中内存管理和进程管理可以用来作为衡量一个操作系统的标准。

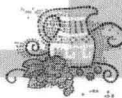
### 3. 接口库

接口库是一系列特殊的程序库，它们的职责在于把系统所提供的基本服务包装成应用程序所能够使用的编程接口 (API)，因而是最靠近应用程序的部分。例如，GNU C 运行库就属于此类，它把各种操作系统的内部编程接口包装成 ANSI C 和 POSIX 编程接口的形式。

### 4. 外围

所谓外围，是指操作系统中除上述 3 部分以外的所有其他部分，通常是用于提供特定高级服务的部件。例如，在微内核结构中的大部分系统服务，以及 UNIX/Linux 中各种守护进程都通常被划归此列。

当然，这里所介绍的 4 部分不能说所有的操作系统都这样划分。例如，在早期的微软视窗操作系统中，各部分耦合程度很深，难以区分彼此。而在使用外核结构的操作系统中，则根本没有



驱动程序的概念。因而，本节的讨论只适用于一般情况，具体特例需具体分析。

## 1.2 嵌入式系统与通用 PC 系统的不同

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。

从上面的定义我们可以知道，嵌入式系统也是一个计算机系统。下面我们就从一个计算机系统的基本组成来对比一下嵌入式系统与通用 PC 系统的不同，见表 1-1。

表 1-1

设备名称	嵌入式系统	PC 系统
CPU	嵌入式处理器(ARM、MIPS)	CPU (Intel 的 Pentium、AMD 的 Athlon 等)
内存	SDRAM/DDR 芯片	SDRAM, DDR 内存条
存储设备	Flash 芯片	硬盘
输入设备	按键、触摸屏	鼠标、键盘
输出设备	LCD(640 × 480, 320 × 240)	显示器
声音设备	音频芯片	声卡
接口	MAX232 等芯片	主板集成
其他设备	USB 芯片、网卡芯片	主板集成或外接卡

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，只有这样才能适应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，任何一个普通人都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字机床、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，如图



1-3 所示。

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, 它无处不在。



图 1-3

## 1.3 嵌入式操作系统

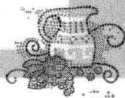
嵌入式操作系统的一个重要特性是实时性。所谓实时性, 就是在确定的时间范围内响应某个事件的特性。操作系统的实时性在某些领域是至关重要的, 如工业控制、航空航天等领域。想象一下飞机正在空中飞行, 如果嵌入式系统不能及时响应飞行员的控制指令, 那么极有可能导致空难事故。而有些嵌入式系统应用并不需要绝对的实时性, 如 PDA 播放音乐, 个别音频数据丢失并不影响效果, 这可以使用软实时的概念来衡量。

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, 也有大量开放源代码的嵌入式操作系统。其中著名的嵌入式操作系统有 Linux、 $\mu$ 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。

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;  $\mu$ 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. $\mu$ C/OS

$\mu$ 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  $\mu$ C/OS II。它的特点是开放源代码, 代码结构清晰, 注释详尽, 组织有条理, 可移植性好; 可剪裁, 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, 它是从整体上为资源有限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, 并允许针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, 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), 新文件系统, 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。

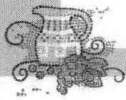
- (1) 微内核 Wind。
- (2) 任务间通信机制。
- (3) 网络支持。
- (4) 文件系统和 I/O 管理。
- (5) POSIX 标准实时扩展。
- (6) C++ 以及其他标准支持。

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、电话、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，那么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；最后，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、Windows 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 的诱人之处才能够走到今天，而 Linux 也正是有了嵌入式 Linux 的广泛应用才更加引人注目。以下就从 Linux 的发端开始，一层层揭开嵌入式 Linux 的面纱。

### 1.4.1 Linux 发展概述

20 世纪 60 年代时，大部分计算机都是采用批处理的方式（也就是说，当作业积累一定数量的时候，计算机才会处理）。

为了改变这种现状，美国电报及电话公司(AT&T)、通用电器公司(GE)及麻省理工学院(MIT)计划合作开发一个多用途、分时及多用户的操作系统，也就是 MUTICS。但是由于这个项目太过于复杂，整个目标过于庞大，糅合了太多的特性，进展太慢，几年下来没有任何成果，而且性能很低。

1969 年 2 月份，贝尔实验室 (Bell labs) 决定退出这个项目。

当时贝尔实验室有个工程师叫 Ken Thompson 的人，他为 MULTICS 写了一个叫“Space Travel”的游戏，当时他发现游戏运行的速度很慢。为了这个游戏能玩，他找来了一位天才工程师 Dennis