



零点起步 系列丛书



零点起步 · 嵌入式Linux 编程入门与开发实例

◎ 王 桐 陈立伟 王红滨 等编著

- ❑ 从零开始，轻松入门
- ❑ 图解案例，清晰直观
- ❑ 图文并茂，操作简单
- ❑ 实例引导，专业经典
- ❑ 学以致用，注重实践



实例源代码、电子
教案和相关视频



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



零点起步系列丛书

零点起步——嵌入式 Linux 编程入门与开发实例

王 桐 陈立伟 王红滨 等编著



机械工业出版社

本书共分 15 章, 分别介绍了嵌入式系统基础、文本编辑器的使用、构建嵌入式 Linux 开发环境、Linux 常用命令、编译与调试、图形界面应用程序开发、嵌入式文件系统与存储技术、Linux 设备驱动程序开发、进程控制、线程控制、嵌入式车载终端的设计、嵌入式 BOA 服务器的构建、嵌入式 VNC 远程控制的实现、ARM Linux 指纹门禁系统和基于 ARM Linux 的家庭安全监控系统设计。

本书不仅有详细的理论知识介绍, 还有大量的开发案例以供参考, 可读性和实用性强, 适合于没有或者缺乏嵌入式 Linux 程序设计经验的初学者作为嵌入式 Linux C 语言开发的自学教材, 同时也适合于已掌握 C 语言基础并想学习嵌入式开发的读者。

本书可作为各类学校的教学用书, 也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

零点起步——嵌入式 Linux 编程入门与开发实例/王桐等编著. —北京: 机械工业出版社, 2011.2

(零点起步系列丛书)

ISBN 978-7-111-33316-6

I. ①零… II. ①王… 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 017662 号

责任编辑: 郝建伟 常建丽

责任印制: 乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·23 印张·571 千字

0001—3500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-33316-6

ISBN 978-7-89451-916-0 (光盘)

定价: 49.00 元 (含 1CD)



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

销售一部: (010) 68326294

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

基本内容

本书是集 C 语言程序设计、Linux 编程环境讲解及嵌入式开发于一体的书籍。为了使读者迅速使用嵌入式 Linux C 进行系统开发，本书每个知识点都通过典型的例题来说明其功能和用法，并给出重要的设置选项含义。通过学习本书，读者可以快速学会在 Linux 环境下进行 C 语言编程，掌握其中的编程方法和技巧，从而实现 Linux 环境下 C 语言编程的入门和提高。

本书共分为 15 章，各章的具体内容如下。

- 第 1 章：概括介绍嵌入式系统基础，包括 Linux 的发展历史、发行版本、Linux 系统的特点和组成，ARM 处理器的体系结构、应用领域及特点，嵌入式系统的开发流程，Linux 程序设计流程等。
- 第 2 章：介绍文本编辑器的使用，包括 Vi 的基本模式和基本操作，Vim 编辑器的启动和使用，Emacs 编辑器的基本编辑和使用，以及 gedit 编辑器的使用等。
- 第 3 章：构建嵌入式 Linux 开发环境，包括开发环境的构建、U-Boot 的分析与移植、VIVI 分析、嵌入式 Linux 操作系统内核编译等内容。
- 第 4 章：Linux 常用命令，介绍常用的目录命令和文件命令等内容。
- 第 5 章：编译与调试，介绍嵌入式 Linux 编译器 GCC 的使用、调试工具 GDB 的使用和 make 工程管理器的使用等内容。
- 第 6 章：图形界面应用程序开发，介绍 Linux 环境下几种主流的 GUI，包括 MiniGUI、Qt/Embedded、MicroWindows、OpenGUI 和 GTK+，详细介绍了基于 MiniGUI 的图形界面开发，并给出开发示例。
- 第 7 章：嵌入式文件系统与存储技术，包括嵌入式系统的功能和特点、Linux 操作系统支持的常见文件系统、Linux 文件结构、Flash 存储技术、JFFS2 文件系统在 Linux 中的实现、YAFFS 文件系统在 Linux 中的实现等内容。
- 第 8 章：Linux 设备驱动程序开发，包括 Linux 设备驱动程序概述、Linux 设备驱动程序与内核的关系、Linux 设备驱动程序框架、字符设备驱动、块设备驱动和网络设备驱动等内容。
- 第 9 章：进程控制，包括 Linux 进程简介、Linux 进程调度、进程的内存映像、进程控制和进程间通信等内容，并给出开发实例。
- 第 10 章：线程控制，包括线程和进程的关系、线程的分类、创建线程、线程的属性、线程等待终止、私有数据、线程同步和出错处理等内容。
- 第 11 章：嵌入式车载终端的设计，包括车载终端的硬件平台、S3C2440A 微处理器、车辆监控系统、存储单元、数字音频接口、嵌入式开发环境的建立和嵌入式车载终端软件的开发等。
- 第 12 章：嵌入式 BOA 服务器的构建，包括嵌入式 Linux 系统移植、开发环境的构



建、Boot Loader 分析移植、Linux 内核移植、构建根文件系统和嵌入式 Linux 的 BOA 服务器移植等。

- 第 13 章：嵌入式 VNC 远程控制的实现，包括需求分析、嵌入式 Linux 系统移植、Linux X 图形系统和嵌入式 X、配置编译 Tiny-X、编译 Matchbox、编译 VNC Viewer、编译 Xterm、Tiny-X 及应用程序移植、RFB 协议简析及文件系统的裁剪等。
- 第 14 章：ARM Linux 指纹门禁系统，包括指纹识别系统概述、指纹识别系统的原理、系统硬件结构、Linux 操作系统移植和系统软件设计等。
- 第 15 章：基于 ARM Linux 的家庭安全监控系统设计，包括系统的功能和组成、系统模块功能描述、软件平台与开发工具、基于嵌入式平台的网络服务器、视频监控系统的实现和红外监控模块设计等。

主要特点

本书的作者都是科研和实际工作的教师和博士研究生，有着丰富的教学和编著经验。本书在内容编排上，按照读者学习的一般规律，结合大量实例讲解操作步骤，使读者快速熟悉 Linux 操作系统、嵌入式开发环境，熟练掌握 Linux C 的使用。

本书具有以下几个鲜明特点：

- 从零开始，轻松入门；
- 图解案例，清晰直观；
- 图文并茂，操作简单；
- 实例引导，专业经典；
- 学以致用，注重实践。

读者对象

- 学习 Linux C 设计的初级读者。
- 具有一定 C 语言基础知识、希望进一步深入掌握在 Linux 开发环境下进行 C 语言设计的中级读者。
- 大中专院校计算机相关专业的学生。
- 从事嵌入式开发环境的工程技术人员。

本书既可以作为大中专院校计算机及相关专业的教材，也可以作为读者的自学用书，同时还可以作为专业人员的参考书。

配套光盘简介

为了便于读者学习，本书配套提供了多媒体教学光盘。光盘中包含本书主要实例的源文件，这些文件都被保存在与章节相对应的文件夹中；同时，主要实例的设计过程都被采集成视频录像，为读者的学习带来便利。

注意：由于光盘中的文件都是“只读”的，因此直接修改这些文件是不行的。读者可以先将这些文件复制到硬盘上，去掉文件的“只读”属性，然后再使用。



本书主要由王桐、陈立伟、王红滨编写。其中，第1章、第5~9章由王桐编写；第3~4章、第10~12章由陈立伟编写；第2章、第13~15章由王红滨编写，参与本书编写工作的还有王莉、林宣佐、陆军、杜晔、邵宇等，参与代码调试的有杨磊、倪杰和李丹仪等。另外，本书的编写受到国家自然科学基金项目（60775060）、高等学校博士点基金项目（20102304120014 及 200802171053）、黑龙江省自然科学基金（F201029）、中国博士后科学基金资助项目（20080440840）和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目（HEUCF100826）的资助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者不吝指正。

网站地址：www.zerobook.net，联系信箱：gdz_zero@126.com。

编 者

目 录

前言

第 1 章 嵌入式系统基础	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.2 嵌入式操作系统	3
1.3 Linux 操作系统	5
1.3.1 Linux 的发展历史	5
1.3.2 Linux 的发行版本	5
1.3.3 Linux 系统的特点和组成	7
1.4 ARM 处理器平台	9
1.4.1 ARM 处理器简介	9
1.4.2 ARM 处理器的体系结构	10
1.4.3 ARM 微处理器系列	11
1.4.4 ARM 微处理器的应用领域及特点	15
1.4.5 ARM 微处理器的结构	16
1.4.6 ARM 微处理器的应用选型	17
1.5 嵌入式系统开发	18
1.5.1 嵌入式系统的开发流程	18
1.5.2 Linux 程序设计流程	19
1.6 思考与练习	20
第 2 章 文本编辑器的使用	21
2.1 Vi 编辑器	21
2.1.1 Vi 的基本模式	21
2.1.2 Vi 的基本操作	22
2.2 Vim 编辑器	25
2.3 Emacs 编辑器	31
2.3.1 Emacs 的启动与退出	31
2.3.2 Emacs 的基本编辑	32
2.3.3 Emacs 的 C 模式	34
2.3.4 Emacs 的 Shell 模式	34
2.4 gedit 编辑器	35
2.5 思考与练习	36
第 3 章 构建嵌入式 Linux 开发环境	37
3.1 嵌入式系统开发环境的构建	37



3.2	移植 U-Boot	40
3.2.1	Bootloader 简介	40
3.2.2	Bootloader 的启动流程	41
3.2.3	U-Boot 的分析与移植	49
3.2.4	VIVI 分析	52
3.3	嵌入式 Linux 操作系统内核编译	53
3.3.1	Linux 内核结构	53
3.3.2	内核的配置	55
3.3.3	内核编译的过程	56
3.3.4	内核的移植	57
3.4	思考与练习	58
第 4 章	Linux 常用命令	59
4.1	目录命令	59
4.1.1	ls	59
4.1.2	cd	62
4.1.3	pwd	63
4.1.4	mkdir	63
4.1.5	rmdir	64
4.2	文件命令	65
4.2.1	cp	66
4.2.2	rm	68
4.2.3	mv	69
4.2.4	cat	71
4.2.5	chmod	72
4.2.6	find	74
4.2.7	grep	77
4.2.8	sort	79
4.3	思考与练习	80
第 5 章	编译与调试	81
5.1	嵌入式 Linux 编译器 GCC	81
5.1.1	GCC 编译分析	82
5.1.2	GCC 编译选项分析	89
5.1.3	库函数的使用方法	92
5.2	调试工具 GDB	95
5.2.1	GDB 使用实例	96
5.2.2	GDB 的帮助	99
5.2.3	设置/删除断点	100
5.2.4	各种相关命令	100
5.3	Make 工程管理器	102



5.3.1	Makefile 文件的构成	103
5.3.2	Makefile 变量	105
5.3.3	Make 管理器的使用	106
5.4	思考与练习	108
第 6 章	图形界面应用程序开发	109
6.1	嵌入式图形用户界面	109
6.2	Linux 环境下几种主流的 GUI	110
6.2.1	MiniGUI	110
6.2.2	Qt/Embedded	112
6.2.3	MicroWindows	113
6.2.4	OpenGUI	114
6.2.5	GTK+	114
6.3	基于 MiniGUI 的图形界面开发	115
6.3.1	MiniGUI 程序框架	116
6.3.2	MiniGUI 中的窗口与消息	116
6.3.3	菜单	124
6.3.4	键盘与鼠标	124
6.3.5	对话框	125
6.3.6	常用控件	126
6.4	思考与练习	134
第 7 章	嵌入式文件系统与存储技术	135
7.1	嵌入式文件系统的功能和特点	135
7.2	Linux 操作系统支持的常见文件系统	136
7.3	Linux 文件结构	140
7.3.1	Linux 文件系统	142
7.3.2	Linux 文件类型	143
7.3.3	Linux 文件的访问权限控制	145
7.4	Flash 存储技术	147
7.4.1	Flash 的类型	147
7.4.2	Flash 的技术特点	147
7.4.3	NOR Flash 与 NAND Flash 的区别	148
7.5	NOR Flash 与 JFFS2 文件系统	150
7.5.1	JFFS2 原理	150
7.5.2	JFFS2 文件系统在 Linux 中的实现	154
7.6	NAND Flash 与 YAFFS 文件系统	155
7.6.1	YAFFS 原理	156
7.6.2	YAFFS 文件系统在 Linux 中的实现	159
7.7	思考与练习	160



第 8 章 Linux 设备驱动程序开发	161
8.1 Linux 设备驱动程序概述	161
8.2 Linux 设备驱动程序与内核的关系	163
8.3 Linux 设备驱动程序框架	164
8.4 设备访问方式及实现	166
8.4.1 查询方式	166
8.4.2 中断方式	167
8.4.3 DMA 方式	168
8.5 字符设备驱动	169
8.6 块设备驱动	174
8.6.1 块设备驱动简介	174
8.6.2 块设备相关结构体	175
8.7 网络设备驱动	179
8.7.1 网络设备简介	179
8.7.2 网络设备的运行机制	180
8.7.3 sk_buff 数据结构	181
8.7.4 数据包的发送与接收	182
8.7.5 网络设备驱动程序的加载	183
8.7.6 DM9000 网卡驱动程序分析	184
8.8 思考与练习	188
第 9 章 进程控制	189
9.1 Linux 进程	189
9.1.1 Linux 进程简介	189
9.1.2 Linux 进程调度	193
9.1.3 进程的内存映像	198
9.2 进程控制	198
9.2.1 创建进程	199
9.2.2 创建守护进程	200
9.2.3 进程退出	204
9.2.4 改变进程的优先级	205
9.2.5 执行新程序	206
9.2.6 等待进程结束	207
9.3 进程间通信	209
9.3.1 管道	210
9.3.2 有名管道	211
9.3.3 消息队列	214
9.3.4 信号量	217
9.3.5 共享内存	219
9.4 思考与练习	224



第 10 章 线程控制	226
10.1 Linux 线程	226
10.1.1 线程和进程的关系	227
10.1.2 线程的分类	228
10.2 创建线程	229
10.3 线程的属性	231
10.4 线程等待终止	235
10.5 私有数据	236
10.6 线程同步	236
10.6.1 互斥锁	237
10.6.2 条件变量	240
10.6.3 信号量	243
10.7 出错处理	244
10.7.1 错误码	245
10.7.2 出错处理相关函数	245
10.8 思考与练习	247
第 11 章 嵌入式车载终端的设计	248
11.1 车载终端的硬件平台	248
11.1.1 S3C2440A 微处理器	248
11.1.2 车辆监控系统	249
11.1.3 存储单元	250
11.1.4 LCD	250
11.1.5 数字音频接口	250
11.2 嵌入式开发环境的建立	251
11.3 嵌入式车载终端软件的开发	252
11.3.1 GPRS 通信模块	252
11.3.2 温度自动调节系统	253
11.3.3 可视倒车功能的实现	257
11.3.4 车载语音电话	263
第 12 章 嵌入式 BOA 服务器的构建	269
12.1 嵌入式 Web 服务器	269
12.2 嵌入式 Linux 系统移植	270
12.2.1 开发环境的构建	270
12.2.2 Boot Loader 分析移植	271
12.2.3 Linux 内核移植	272
12.2.4 构建根文件系统	274
12.3 嵌入式 Linux 的 BOA 服务器移植	276
12.3.1 BOA 服务器	276
12.3.2 CGIC 库的移植	281



12.3.3 HTML 模板的制作	283
12.3.4 CGI 程序的开发	283
第 13 章 嵌入式 VNC 远程控制的实现	291
13.1 远程控制及 VNC	291
13.2 需求分析	292
13.2.1 软件需求分析	292
13.2.2 硬件需求分析	293
13.3 嵌入式 Linux 系统移植	294
13.3.1 交叉开发环境的构建	294
13.3.2 Bootloader 的移植	297
13.3.3 Linux 内核的移植	300
13.3.4 Linux 根文件系统的构建	302
13.4 Tiny-X 及应用程序移植	307
13.4.1 Linux X 图形系统和嵌入式 X	307
13.4.2 配置编译 Tiny-X	307
13.4.3 编译 Matchbox	312
13.4.4 编译 VNC Viewer	312
13.4.5 编译 Xterm	313
13.5 RFB 协议简析及文件系统的裁剪	313
13.5.1 RFB 协议简析	314
13.5.2 文件系统的裁剪	315
第 14 章 ARM Linux 指纹门禁系统	316
14.1 指纹识别技术概述	316
14.2 指纹识别系统的原理	318
14.3 系统硬件结构	320
14.4 指纹采集芯片 fps200	321
14.5 Linux 操作系统移植	322
14.5.1 BootLoader 移植	323
14.5.2 Linux 内核移植到 S3C2410	324
14.5.3 加载指纹芯片驱动程序	326
14.5.4 加载文件系统	326
14.6 系统软件设计	328
14.6.1 系统的初始化	328
14.6.2 指纹采集与处理	329
14.6.3 指纹识别算法的实现	331
第 15 章 基于 ARM Linux 的家庭安全监控系统设计	336
15.1 系统的功能和组成	336
15.1.1 S3C2410 简介	337
15.1.2 无线红外探头 RD-HW14G	339



15.1.3 系统模块功能描述	339
15.2 软件平台与开发工具	340
15.2.1 Linux 系统	341
15.2.2 Shell 脚本	341
15.2.3 GCC 编译器	342
15.2.4 Make 项目管理器	342
15.2.5 Socket 编程接口	343
15.3 基于嵌入式平台的网络服务器	343
15.3.1 嵌入式 Web 服务器	344
15.3.2 嵌入式视频服务器	346
15.3.3 嵌入式 SSH 服务器	348
15.4 视频监控系统的实现	350
15.4.1 基于 Java 的浏览器实现	350
15.4.2 Windows 平台下客户端的分析和实现	351
15.5 红外监控模块的设计	355
参考文献	356

嵌入式系统基础

嵌入式系统广泛地渗透在科学研究、工程设计、信息家电、军事技术等各类产业以及人们日常生活的各个方面。从广义上说,凡是带有微处理器的专用硬件系统都可以称为嵌入式系统,如单片机和 DSP 系统;从狭义上说,那些使用嵌入式微处理器构成独立系统,具有自己的操作系统,具有特定功能的专用软硬件系统都是嵌入式系统。嵌入式产品遍布于人们的日常生活,从手机、PDA 到家中的空调、冰箱,从汽车到飞机甚至武器中的巡航导弹,所有这些都可以利用嵌入式技术进行开发与改造的产品。越来越多的公司、科研院所、大专院校以及个人都在从事嵌入式系统的设计开发工作。嵌入式系统已经成为电子领域研究的热点。本章重点介绍嵌入式系统的基础知识,讲述嵌入式系统的设计开发方法。

本章要点

- 嵌入式系统的概念、特点和应用。
- 常用的各种嵌入式操作系统,包括 Palm、VxWorks、pSOS、Windows Embedded、Symbian、 μ C/OS-II、嵌入式 Linux 和 eCOS。
- Linux 的发展历史、Linux 的发行版本、Linux 系统的特点和组成。
- ARM 处理器的体系结构、ARM 微处理器系列、ARM 微处理器的应用领域及特点、ARM 微处理器的结构和 ARM 微处理器的应用选型。
- 嵌入式系统开发的基础知识和嵌入式系统的开发流程。

1.1 嵌入式系统概述

嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软硬件可裁剪,适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。英国电机工程师协会的定义是:嵌入式系统为控制、监视或辅助设备、机器甚至工厂运作的装置。常见的嵌入式操作系统有 Linux、Windows CE、Palm、Symbian 和 μ C/OS-II 等。每一种操作系统都有自己的特点和优势,应用于不同的领域。嵌入式系统可以应用在航天、国防、制造、医疗、互联网、消费电子及电信设备等领域。

1. 嵌入式系统的特点

从应用的角度看,嵌入式系统与通用计算机系统相比,有如下特点:

(1) 专用性强

嵌入式系统通常是面向用户、面向产品、面向特定应用的,其专用性很强,不能独立于应用自行发展,所以嵌入式系统的硬件和软件,尤其是软件,都是为特定用户群来设计的。



它通常具有某种专用性的特点。

(2) 实时性好

目前,嵌入式系统广泛应用于生产过程控制、数据采集、传输通信等场合,主要用来对宿主对象进行控制,所以它们都对嵌入式系统有或多或少的实时性要求。高实时性的操作系统软件是嵌入式软件的基本要求。一般都要求软件是固化和存储的。

(3) 可裁剪性好

从嵌入式系统专用性的特点来看,作为嵌入式系统的供应者,理应提供各式各样的硬件和软件以备选用。但是,这样做势必会提高产品的成本。为了既不提高成本,又满足专用性的需要,嵌入式系统的供应者必须采取相应措施,使产品在通用和专用之间进行某种平衡。目前的做法是,把嵌入式系统硬件和操作系统设计成可裁剪的,以便使嵌入式系统开发人员根据实际应用需要来量体裁衣,去除冗余,从而使系统在满足应用要求的前提下达到最精简的配置。

(4) 可靠性高

由于有些嵌入式系统所承担的计算任务涉及产品质量、人身安全、国家机密等重大事务,加之有些嵌入式系统的宿主对象要工作在无人值守的场合,所以与普通系统相比较,对嵌入式系统可靠性的要求极高。

(5) 功耗低

有很多嵌入式系统的宿主对象都是一些小型应用系统,如移动电话、PDA、MP3、飞机、舰船和数码相机等,这些设备往往工作时间较长,又无法像通用计算机那样有充足的电源供应,因此低功耗一直是嵌入式系统追求的目标。当然也是为了降低系统的功耗,嵌入式系统中的软件一般不存储于磁盘等载体中,而都固化在存储器芯片或单片系统的存储器之中。功耗还影响 MCU 的选择、外围电路的设计,甚至编程语言的选择。

(6) 系统内核小

因为嵌入式系统一般都应用于小型电子装置,所以系统资源相对有限,其内核也比传统的操作系统小很多,小的有几千字节,大的也不过几十兆字节。嵌入式操作系统内核比较小的有 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 Nucleus 等,相对较大的就是 Microsoft 的 Windows Mobile 操作系统,其内核也只有几十兆字节,比在 PC 上运行的其他操作系统规模小得多。

(7) 具有专门的开发工具和开发环境

嵌入式系统需要开发工具和开发环境。用户在设计完成以后可以借助开发工具和开发环境修改其中的程序功能。开发时往往有主机和目标机的概念,主机用于程序的开发,目标机作为最后的执行机,开发时需要交替结合进行。

(8) 多技术的融合

嵌入式系统融合了多种技术,包括计算机技术、半导体技术以及电子技术等,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。

2. 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统可以应用于消费类电子产品、兵器工业、计算机外围、智能家电、智能玩具、交通、金融和国防等国民经济的各个领域。目前绝大多数的无线设备,如手机中都采用了嵌入式系统,在 PDA 之类的无线设备中,嵌入式微处理器针对视频流进行了优化。

(1) 工业控制

对生产过程各种流程的控制,如流水线控制等。利用嵌入式产品和技术,如可编程控制



器、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备监测、工业机器人等可以对工业生产过程中的生产流程加以控制，从而提高生产效率和产品质量、减少人力资源。美国 Segway 公司出品的两轮自平衡车，其内部就使用嵌入式系统来实现传感器数据采集和电机控制等。

(2) 军事电子设备和现代武器

军事领域从来就是许多高新技术的发源地。嵌入式系统在军事上的应用体现在军事侦察、指挥控制自动化、后勤保障现代化和战场系统网络化等方面。如各种武器控制、舰艇、坦克、轰炸机等陆海空军用电子装备，雷达、电子对抗军事通信装备，野战指挥作战用各种专用设备等。比较成功的应用是美军在海湾战争中利用嵌入式系统设计开发了 Adhoc 设备安装在直升机、坦克、移动步兵身上，从而构成一个自愈合、自维护的作战梯队。

(3) 通信设备

在网络通信设备中，嵌入式系统发挥了重要的作用。交换机、机顶盒、路由器、调制解调器等都是嵌入式应用系统。嵌入式网关和嵌入式因特网路由器已经成为嵌入式系统的一大应用方向。

(4) 交通管理

在车辆导航、流量控制、信息监测与汽车服务方面，嵌入式系统技术已经获得了广泛的应用。内嵌 GPS 模块，GSM 模块的移动定位终端已经在各种运输行业获得了成功的使用。目前，GPS 设备已经从尖端产品进入到普通百姓的家庭，只需要几千元，就可以随时随地找到要查询的目标位置。

(5) 环境工程与自然

在水文资料实时监测、防洪体系及水土质量监测、堤坝安全监测、地震监测、实时气象信息、水源和空气污染监测等领域中，嵌入式系统已得到了广泛应用。在很多环境恶劣，地况复杂的地区，嵌入式系统将实现无人监测。

(6) 商用

各类收款机、电子秤、条形码阅读机、POS 系统、点钞机、IC 卡输入设备、自动柜员机、各种银行专业外围设备等也使用了嵌入式系统技术。

(7) 在智能家电中的应用

各种家用电器（如电视机、冰箱、微波炉和电话等）将通过家庭通信网、控制中心与 Internet 连接，实现远程控制、信息交互、网上娱乐、远程医疗和远程教育等。正是嵌入式系统技术及其他技术的应用，才使普通家电转变为智能网络家电，还可以实现远程医疗，远程教育等。

(8) 消费电子产品

后 PC 时代的消费电子产品应具有强大的网络和多媒体处理功能，易用的界面和丰富的应用功能，这些特性都依赖于嵌入式系统提供的强大的数字处理能力和简洁实用的特性。嵌入式技术在消费电子产品方面的应用包括数字电视机机顶盒、录像机、数码相机、DVD、手机、掌上电脑和家庭网络设备等具有强大的网络和多媒体处理能力的设备。

1.2 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统是一种支持嵌入式系统应用的操作系统软件，它是嵌入式系统的重要组成部分。嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点，能够有效管理复杂的系统资源，并且把硬件虚拟化。实时嵌入式操作系统的种类繁多，大体上可以分为商用型和免费型两种。



1. 商用型嵌入式实时操作系统

商用型的实时操作系统功能稳定、可靠，有完善的技术支持和售后服务，但往往价格昂贵，如 VxWorks、Nucleux、Palm、Symbian、WinCE、QNX、pSOS、VRTX、Lynx、Hopen、Delta 等。

- Palm: 著名的网络设备制造商 3COM 的子公司 Palm Computing 掌上电脑公司的产品，主要用于 PDA，市场占有率较大。
- VxWorks: 美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统 (RTOS)。具有良好的持续发展能力、高性能的内核和友好的开发环境。其突出特点是：可靠性好、实时性好和具有可裁剪性，支持多种处理器，如 X86、i960、MIPS、Power PC 等，目前市场占有率最高，广泛地应用于通信、航空、军事等领域。其缺点是：它支持的硬件相对较少，并且源代码不开放，需要专门的技术人员进行开发和维护。
- pSOS: 美国 ISI 公司，现被 WindRiver 公司兼并，主要用于网络通信设备。
- Windows Embedded: Windows CE.NET 及 Windows XP Embedded。其中，Windows CE 3.0 是一种针对小容量、移动式、智能化、32 位、连接设备的模块化实时嵌入式操作系统。针对掌上设备、无线设备的动态应用程序和服务提供了一种功能丰富的操作系统平台，操作系统的基本内核需要至少 200KB 的 ROM。Windows CE 嵌入但不够实时，属于软实时操作系统，目前已开始中文手机的研究开发。由于其 Windows 背景，界面比较统一。
- Symbian: 它是由诺基亚、西门子、索尼爱立信等几家大型移动通信设备商共同出资组建的一个合资公司专门研发的手机操作系统。

2. 免费型嵌入式实时操作系统

免费型的嵌入式实时操作系统在价格方面具有优势，但是稳定性与服务性存在挑战，如 Linux、μCLinux、μC/OS-II、eCOS、uITRON 等。

- μC/OS-II: Micrium 公司开发的微控制器操作系统，由美国人 Jean Labrosse 在 1992 年完成，可用于 8 位、16 位、32 位处理器。其应用面覆盖了很多领域，如照相机、医疗器械、音响设备和发动机控制等。其特点为：源代码公开，可固化 (ROMable)，可裁剪 (Scalable)，占先式 (总是运行最高优先级的就绪任务)、多任务、可确定性、任务栈、系统服务、中断管理、稳定性和可靠性。μC/OS-II 可以管理 64 个任务，应用程序最多可以有 56 个任务，并且提供以下服务：任务管理 (如任务创建、删除、任务挂起与唤醒、优先级切换等)、信号量、互斥信号量、消息队列、事件标志、定时管理和存储模块管理。
- 嵌入式 Linux: 针对 Linux 经过小型化裁剪后，能够固化在容量只有几百字节或几兆字节的存储器芯片或单片机中，应用于特定嵌入式场合的专用 Linux 操作系统。Linux 是开放源码的，几乎支持所有的 32 位、64 位 CPU，内核中支持的硬件种类繁多，几乎可以从网络上找到所有硬件的驱动程序。Linux 的内核小、功能强大、运行稳定、系统健壮、效率高，易于定制剪裁，在价格上极具竞争力。Linux 不仅支持 x86 CPU，还可以支持其他数十种 CPU 芯片。
- eCOS: 由 Redhat 推出的小型即时操作系统 (Real-Time Operating System)，最低编译核心可小至 10KB 的级别，适合用于作 bootloader 的增强，及微小型系统。此系统和嵌入式 Linux 系统的差异是它将操作系统做成静态连接 (static library) 的方式，让应用程序透过链