

013059766

TP316.81-43
53

高等院校计算机教育系列教材

嵌入式 Linux 系统开发基础

王大永 葛超 张景春 编著



TP316.81-43
53

清华大学出版社
北京



北航

C1665880

013029288

内 容 简 介

嵌入式系统是计算机软件与硬件的完美结合,广泛地应用于手持设备、通信家电、仪器仪表、汽车电子、医疗仪器、工业控制、航天航空等各个领域,并嵌入各类设备中,起着核心作用。嵌入式系统开发,无疑是当前最有前途、最为热门、最需人才的技术领域。

本书共分为 13 章,对嵌入式系统的基本结构、指令系统以及嵌入式系统移植、设备驱动程序等作了比较全面的介绍。其中包括嵌入式 ARM 系列处理器、存储器、定时器及外围设备的介绍,嵌入式开发编译工具的使用,设备驱动程序的编写,嵌入式操作系统的移植及图形界面的开发。通过阅读本书可以使读者掌握开发嵌入式 Linux 系统的基本知识及应用技巧。

对于嵌入式处理器指令系统,本书给出了详细的介绍,希望该部分能作为编写 ARM 汇编程序的开发人员的参考资料,提高开发人员的工作效率。本书可供嵌入式系统、通信工程、信息技术、系统集成等专业的本科生作为教材使用,也可以作为嵌入式系统开发人员的参考用书。

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 系统开发基础/王大永,葛超,张景春编著. —北京:清华大学出版社,2013
(高等院校计算机教育系列教材)
ISBN 978-7-302-33024-0

I. ①嵌… II. ①王… ②葛… ③张… III. ①Linux 操作系统—程序设计—高等学校—教材
IV. ①TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 145969 号

责任编辑:汤涌涛
封面设计:杨玉兰
责任校对:李玉萍
责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>
地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084
社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544
投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:25.25

字 数:612千字

版 次:2013年8月第1版

印 次:2013年8月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:46.00元

产品编号:046725-01

前 言

嵌入式技术是继网络技术之后，又一个新的技术发展方向。嵌入式系统是计算机软件与硬件的完美结合，广泛地应用于手持设备、通信家电、仪器仪表、汽车电子、医疗仪器、工业控制、航天航空等各个领域，并嵌入各类设备中，起着核心作用。

毋庸讳言，嵌入式系统已经无处不在，无疑是当前最有前途、最为热门、最需人才的技术领域。嵌入式人才主要分为两大类：一类是嵌入式硬件工程师，主要从事嵌入式系统硬件研发，包括硬件系统原理图的设计、PCB 印制电路板的设计、开发与硬件相关的底层软件(如 BootLoader、嵌入式驱动程序等)；另一类是嵌入式软件工程师，主要从事嵌入式操作系统和应用软件的开发，如果对嵌入式硬件原理和接口技术有较好的掌握，也可以从事嵌入式系统底层程序的开发。目前很多大学已经开设了嵌入式系统的相关课程，但是多数大学毕业生还不清楚到底如何开发嵌入式系统。编写本书的目的就是阐述嵌入式系统的基本组成部分及设备驱动程序的编程方式，从概念上和实践上说明嵌入式系统的设计开发过程。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的开发领域。希望本书能够帮助读者更好地理解嵌入式系统的基本结构，并且参与嵌入式系统的开发中来。

本书具有以下几个特色。

1. 内容新颖、知识全面

全书以嵌入式系统的基础知识开始，逐渐引导读者了解嵌入式处理器、存储器和定时器系统的基本结构及嵌入式系统的设计开发方法，再详细讲述了嵌入式系统开发的相关知识，重点介绍了基于嵌入式 Linux 的设备驱动程序的开发，以及嵌入式操作系统移植等方面的内容，做到了知识面的全覆盖。

本书内容由浅入深，从基础知识讲起，使初学者对嵌入式系统结构有个总体的了解。然后通过具体的编程实例来进行嵌入式设备驱动开发。为了避免学习的枯燥性，全书采用图文并茂的形式，提高了学习者的兴趣。

2. 层次分明、学习轻松

本书结合作者多年讲授嵌入式课程及参与科研项目的经验，借鉴了多位同行教授的友情提示，从嵌入式系统的基本知识到系统的开发流程，最后是实例编程及嵌入式操作系统的移植等内容，全面介绍了嵌入式系统的结构和编程方面的基础知识，其内容翔实、层次分明，为嵌入式系统的开发者提供了很好的参考。

3. 通俗易懂、针对性强

本书适合刚刚踏入嵌入式领域的初学者，同时也适合想要进一步掌握嵌入式系统开发高级技巧的读者。本书并没有运用过多的专业术语，即使有也都做了具体的名词解释，并且采用通俗易懂的文字、清晰形象的图片，便于读者理解和阅读，从而帮助读者快速掌握

嵌入式系统的基本知识及开发的基本方法。

本书的主要目的是向社会推广与嵌入式系统有关的知识和技术，内容编排层层递进，适合不同程度的读者。入门的读者可以很快地掌握一些常用的技术并积累开发经验，专业读者则可以从对某一嵌入式设备的驱动程序开发中，掌握相应的开发技术和技巧。它既可以作为高等院校的教材，又可以作为学习 ARM 技术的培训资料，也可以作为嵌入式系统开发人员的参考用书。

由于水平所限，书中难免会有疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述 1	1.7 总线 33
1.1 嵌入式系统简介..... 1	1.7.1 ISA..... 33
1.1.1 嵌入式系统的定义..... 1	1.7.2 PCI..... 34
1.1.2 嵌入式系统的硬件/软件特征..... 3	1.7.3 I ² C..... 35
1.1.3 嵌入式操作系统..... 4	1.7.4 SPI..... 37
1.1.4 学习嵌入式系统的意义..... 6	1.7.5 PC-104..... 38
1.2 嵌入式系统硬件..... 7	1.7.6 CAN..... 39
1.2.1 嵌入式处理器..... 7	1.8 课后练习..... 41
1.2.2 嵌入式微处理器..... 8	第 2 章 嵌入式处理器介绍 43
1.2.3 嵌入式微控制器..... 9	2.1 ARM 微处理器概述..... 43
1.2.4 嵌入式 DSP 处理器..... 9	2.1.1 ARM 微处理器应用领域及特点..... 43
1.2.5 嵌入式片上系统..... 10	2.1.2 ARM 微处理器系列..... 44
1.2.6 嵌入式处理器的选择..... 10	2.1.3 ARM 微处理器体系结构..... 50
1.3 存储器..... 11	2.1.4 ARM 微处理器的应用选型..... 57
1.3.1 存储器的分类..... 11	2.1.5 ARM 微处理器存储体系结构..... 58
1.3.2 存储器的层次结构..... 13	2.1.6 ARM 微处理器的工作状态..... 60
1.3.3 随机存储器 RAM..... 14	2.1.7 ARM 微处理器运行模式..... 61
1.3.4 只读存储器 ROM..... 17	2.1.8 ARM 微处理器的存储格式..... 62
1.4 输入/输出设备..... 19	2.1.9 ARM 状态下的寄存器结构..... 63
1.4.1 液晶显示..... 19	2.1.10 ARM 异常中断..... 66
1.4.2 触摸屏..... 21	2.2 ARM 微处理器指令系统..... 70
1.4.3 语音输入/输出技术..... 23	2.2.1 ARM 指令的一般格式..... 70
1.4.4 键盘..... 25	2.2.2 ARM 指令的寻址方式..... 73
1.5 电源转换与管理..... 26	2.2.3 ARM 存储器访问指令..... 78
1.5.1 电源 IC 的分类..... 26	2.2.4 跳转指令..... 82
1.5.2 电源 IC 的特点..... 27	2.2.5 数据处理指令..... 84
1.5.3 电源 IC 选用指南..... 28	2.2.6 程序状态寄存器(PSR)传输指令..... 90
1.6 接口技术..... 29	2.2.7 协处理器指令..... 91
1.6.1 并口..... 29	2.2.8 ARM 杂项指令..... 93
1.6.2 串口..... 30	
1.6.3 USB..... 31	
1.6.4 蓝牙..... 32	

2.2.9 ARM 伪指令	96	4.2 常用的嵌入式 Linux BootLoader	141
2.3 Thumb 指令集	98	4.2.1 U-Boot	141
2.4 课后练习	99	4.2.2 VIVI	142
第 3 章 嵌入式系统设计方法	101	4.2.3 BLOB	143
3.1 嵌入式系统设计概述	101	4.2.4 RedBoot	143
3.1.1 嵌入式系统的总体结构	101	4.2.5 ARMBoot	143
3.1.2 嵌入式系统的设计内容	103	4.2.6 DIY	143
3.1.3 嵌入式系统的设计特点	104	4.3 U-Boot 基础	144
3.1.4 嵌入式系统设计方法的 分类	105	4.3.1 U-Boot 源代码的目录结构	144
3.2 嵌入式系统设计流程	107	4.3.2 U-Boot 支持的主要功能	146
3.3 ARM920T 简介	111	4.3.3 U-Boot 的命令介绍及 环境变量	146
3.4 S3C2410X 开发板	112	4.4 U-Boot 的启动过程	147
3.4.1 S3C2410 处理器的特点	114	4.5 U-Boot 的编译过程	151
3.4.2 ARM 片上总线	118	4.6 U-Boot 移植的关键技术	154
3.4.3 S3C2410 的处理器中断	119	4.7 课后练习	155
3.4.4 S3C2410 处理器片上资源的 定义和使用	126	第 5 章 嵌入式系统交叉编译	156
3.4.5 编程参考软件包 2410TEST	129	5.1 交叉编译环境简介	156
3.5 课后练习	133	5.1.1 交叉编译概念模型	156
第 4 章 BootLoader	135	5.1.2 目标板与宿主机之间的连接	157
4.1 BootLoader 概述	135	5.1.3 文件传输方式	159
4.1.1 BootLoader 的基本概念	136	5.1.4 网络文件系统	160
4.1.2 BootLoader 所支持的 CPU 和 嵌入式体系结构	137	5.2 交叉编译工具	160
4.1.3 BootLoader 的安装介质	138	5.2.1 gcc 编译器	160
4.1.4 BootLoader 的概念扩展	138	5.2.2 Binutils 工具包	162
4.1.5 ARM BootLoader 的共性	138	5.2.3 GNU make	162
4.1.6 BootLoader 移植的必要性	140	5.2.4 glibc 库	164
4.1.7 BootLoader 的烧录和存储	140	5.2.5 gdb 调试工具	165
4.1.8 BootLoader 与主机之间进行 文件传输所用的通信设备及 协议	140	5.2.6 交叉编译环境的建立	166
4.1.9 BootLoader 的通用执行 流程	140	5.3 主机开发环境配置	170
		5.3.1 配置主机服务	170
		5.3.2 串口控制台工具	172
		5.3.3 配置 DHCP 服务	175
		5.3.4 配置 TFTP 服务	177
		5.3.5 配置 NFS 服务	179
		5.4 课后练习	181

第 6 章 嵌入式 Linux 的软件	
开发环境	182
6.1 交叉编译环境.....	182
6.1.1 安装交叉编译环境.....	182
6.1.2 添加设备驱动和内核模块.....	183
6.2 可执行文件.....	183
6.2.1 COFF 文件格式.....	183
6.2.2 ELF 文件格式.....	183
6.2.3 FLAT 文件格式.....	184
6.3 调试技术.....	184
6.3.1 基于主机的调试.....	186
6.3.2 远程调试器与调试内核.....	187
6.3.3 在线仿真 ICE.....	188
6.3.4 BDM.....	188
6.3.5 软件仿真器.....	189
6.3.6 内存调试.....	190
6.3.7 MEMWATCH.....	190
6.3.8 YAMD.....	191
6.4 程序调试.....	193
6.4.1 gdb.....	193
6.4.2 kgdb.....	194
6.4.3 Oops.....	196
6.5 ROM 仿真器.....	197
6.6 JTAG 接口.....	198
6.7 系统引导和内核启动.....	199
6.7.1 BootLoader 程序的设计与实现.....	199
6.7.2 硬件平台的通信.....	200
6.7.3 硬件平台初始化程序.....	200
6.7.4 硬件平台监控程序.....	200
6.8 μ CLinux 移植.....	201
6.8.1 第一阶段.....	201
6.8.2 第二阶段.....	202
6.9 课后练习.....	203
第 7 章 设备驱动程序	205
7.1 概述.....	205
7.1.1 设备类型.....	206
7.1.2 设备号.....	206
7.1.3 模块化编程.....	207
7.2 设备驱动基础.....	212
7.2.1 设备驱动程序的结构.....	214
7.2.2 设备驱动程序的接口.....	215
7.3 设备文件接口.....	216
7.3.1 用户访问接口.....	216
7.3.2 open 入口点.....	216
7.3.3 close 入口点.....	217
7.3.4 read 入口点.....	217
7.3.5 write 入口点.....	217
7.3.6 ioctl 入口点.....	218
7.4 文件操作.....	218
7.4.1 file_operations 结构.....	218
7.4.2 file 结构.....	219
7.5 I/O 操作.....	220
7.5.1 阻塞型 I/O.....	221
7.5.2 select.....	221
7.5.3 异步触发.....	222
7.6 中断处理.....	223
7.6.1 注册中断处理程序.....	223
7.6.2 返回值.....	223
7.6.3 参数.....	223
7.6.4 实现中断处理程序.....	225
7.7 实例: 简单设备驱动程序.....	226
7.7.1 按键.....	226
7.7.2 触摸屏.....	228
7.8 课后练习.....	236
第 8 章 Flash ROM 存储器实例	238
8.1 S3C44B0 存储器控制器.....	238
8.1.1 概述.....	238
8.1.2 功能描述.....	238
8.1.3 特殊寄存器.....	243
8.2 Flash Rom 原理分析.....	249
8.2.1 Flash 器件介绍.....	249

8.2.2	Flash 读写操作.....	250	10.2.2	OS_CPU.H	295
8.2.3	SST39VF160 芯片介绍	251	10.2.3	OS_CPU_A.ASM.....	297
8.2.4	SST39VF1601 芯片操作	252	10.2.4	OS_CPU_C.C.....	301
8.3	实例过程	256	10.3	实例过程	302
8.3.1	电路连接	256	10.3.1	配置 OS_CFG.H 文件	302
8.3.2	硬件和寄存器设置	257	10.3.2	任务函数的编写	302
8.3.3	程序的编写	257	10.3.3	调试与运行结果	305
8.3.4	调试与运行结果	260	10.4	课后练习	305
8.4	课后练习	261	第 11 章 μCLinux 移植实例.....		307
第 9 章 定时器中断实例.....		262	11.1	Linux 操作系统.....	307
9.1	S3C44B0 中断机制分析.....	262	11.1.1	Linux 介绍.....	307
9.1.1	中断控制器	262	11.1.2	Linux 内核.....	311
9.1.2	中断源与中断模式	264	11.2	μ CLinux 操作系统.....	316
9.1.3	中断优先级	266	11.2.1	μ CLinux 介绍.....	316
9.1.4	其他特殊寄存器	268	11.2.2	μ CLinux 文件结构.....	319
9.2	PWM 定时器.....	271	11.3	实例过程	319
9.2.1	定时器结构概述	271	11.3.1	寄存器配置和文件修改	319
9.2.2	定时器操作	272	11.3.2	编译过程	321
9.2.3	死区产生器	274	11.3.3	下载与运行结果	322
9.2.4	DMA 请求模式.....	275	11.4	课后练习	325
9.2.5	特殊寄存器	276	第 12 章 Linux 下网络通信实例.....		327
9.3	实例过程	279	12.1	网络协议介绍	327
9.3.1	寄存器设置	279	12.1.1	以太网协议	327
9.3.2	程序的编写	280	12.1.2	ARP 协议	328
9.3.3	调试与运行结果	281	12.1.3	ICMP 协议	330
9.4	课后练习	281	12.1.4	UDP 协议	330
第 10 章 μC/OS-II 移植与			12.1.5	TCP 协议.....	332
应用实例.....		283	12.1.6	FTP、HTTP 等应用层	
10.1	μ C/OS-II 实时操作系统.....	283	协议	334	
10.1.1	实时操作系统概念	283	10.2	Linux 网络协议层.....	336
10.1.2	μ C/OS-II 的文件结构.....	284	12.2.1	网络层次总体结构	336
10.1.3	μ C/OS-II 的任务与中断.....	284	12.2.2	网络设备驱动程序分析	340
10.1.4	μ C/OS-II 中的任务函数.....	286	12.3	实例过程	342
10.2	μ C/OS-II 的移植.....	293	12.3.1	CS800A 驱动的编写	342
10.2.1	移植条件和内容分析	293	12.3.2	TCP 编程实例	349

12.3.3 UDP 编程实现	351	13.3.3 Qt/Embedded 实现技术 分析	369
12.4 课后练习	353	13.3.4 Qt/Embedded 图形引擎 实现基础	370
第 13 章 图形用户界面实例	355	13.3.5 Qt/Embedded 事件驱动的 基础	371
13.1 概述	355	13.3.6 Qt/Embedded 应用程序的 开发流程	371
13.1.1 GUI 简介	355	13.3.7 Qt/Embedded 的移植与 应用	372
13.1.2 GUI 特征	356	13.3.8 Qt/Embedded 窗口实例	374
13.1.3 GUI 架构	357	13.4 课后练习	378
13.2 嵌入式 Linux GUI 简介	358	附录 各章课后练习参考答案	379
13.2.1 MicroWindows	358		
13.2.2 OpenGUI	359		
13.2.3 Qt/Embedded	359		
13.2.4 MiniGUI	360		
13.3 Qt/Embedded 图形开发实例	361		
13.3.1 Qt/Embedded 介绍与安装	361		
13.3.2 Qt/Embedded 信号和插槽 机制	366		

第 1 章 嵌入式系统概述

嵌入式系统是指用于执行独立功能的专用计算机系统。本章将详细介绍嵌入式系统的基础知识，包括嵌入式系统硬件、存储器、输入/输出设备及接口总线等。

1.1 嵌入式系统简介

嵌入式系统是指用于执行独立功能的专用计算机系统，主要由软件和硬件组成。硬件方面主要包括微处理器、定时器、微控制器、存储器、传感器等一系列微电子芯片与器件，软件方面主要包括嵌入在存储器中的微型操作系统、控制应用软件等，实现诸如实时控制、监视、管理、移动计算、数据处理等各种自动化处理任务。嵌入式系统以应用为中心，以微电子技术、控制技术、计算机技术和通信技术为基础，强调硬件与软件的协同性与整合性，软件与硬件可裁剪，以满足系统对功能、成本、体积和功耗等的要求。

1.1.1 嵌入式系统的定义

“嵌入”是指将一物“置于”另一物中，“嵌入式系统”的全称应为“嵌入式计算机系统”，嵌入式系统可以理解为“一个成为其他产品构成成分的、为特殊目的而个性化设计的计算机软、硬件的组合”。

目前，对嵌入式系统的定义多种多样，下面给出几种比较合理的定义。

根据 IEEE(国际电气和电子工程师协会)的定义：嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”(原文为 Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。

从技术的角度定义：嵌入式系统是以应用为中心、以计算机技术为基础、软件与硬件可裁剪、适应于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

从系统的角度定义：嵌入式系统是设计完成复杂功能的硬件和软件，并使其紧密耦合在一起的计算机系统。术语“嵌入式”反映了这些系统通常是更大系统中的一个完整的部分，称为嵌入的系统。嵌入的系统中共存多个嵌入式系统。

一个嵌入式系统由四大部分组成：嵌入式处理器、嵌入式外围设备、嵌入式操作系统和嵌入式应用软件。嵌入式系统的组成结构如图 1-1 所示。

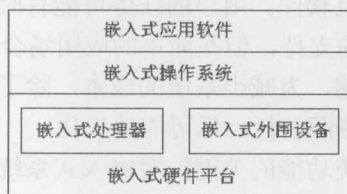


图 1-1 嵌入式系统组成结构

1. 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部件。嵌入式处理器与通用处理器的最大区别在于：嵌入式处理器大多用于特定用户的系统中。它把通用计算机的许多板卡完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化，并具有高效率、高可靠性等特征。

大的硬件厂商都会推出自己的嵌入式处理器，因而市面上有 1000 多种嵌入式处理器芯片，其中使用最为广泛的有 ARM、MIPS、PowerPC 和 MC68000 等。

2. 嵌入式外围设备

嵌入式外围设备是指在一个嵌入式系统中，嵌入式处理器以外的完成存储、通信、调试、显示等辅助功能的其他部件。根据外围设备的功能可以分为下几类。

(1) 存储器。包括静态易失性存储器(RAM、SRAM)、动态存储器(DRAM)和非易失性存储器(Flash)。其中，Flash 以可擦写次数多、存储速度快、容量大及价格低等优点，在嵌入式领域得到了广泛的应用。

(2) 接口。应用最为广泛的接口包括并口、RS-232 串口、IrDA 红外接口、SPI 串行外围设备接口、I²C 接口总线、USB 通用串行总线接口、Ethernet 网口等。

(3) 人机交互。包括 LCD、键盘和触摸屏等人机交互设备。

3. 嵌入式操作系统

在大型嵌入式应用系统中，为了使嵌入式开发能更方便、快捷，需要具备一种稳定、安全的软件模块集合，用来管理存储器分配、中断处理、任务间通信和定时器响应，以及提供多任务处理等，这样的软件模块集合就是嵌入式操作系统。嵌入式操作系统的引入大大扩展了嵌入式系统的功能，方便了应用软件的设计，但同时也占用了嵌入式系统的宝贵资源。

早期的嵌入式系统几乎都用于控制，或多或少都有些实时要求，所以以前的嵌入式操作系统实际上是实时操作系统的代名词。近年来，由于手持式计算机和掌上计算机等设备的出现，也有了许多不带实时要求的嵌入式系统。另外，由于 CPU 速度的提高，一些原先被认为是实时的反应速度现在已经很普遍了，以前需要在实时操作系统上才能实现的应用，现在已不难在常规的操作系统上实现。在这样的背景下，嵌入式操作系统和实时操作系统就成了不同的概念和名词。

4. 嵌入式应用软件

嵌入式系统的应用软件是针对特定的实际专业领域的，基于相应的嵌入式硬件平台，并能完成用户预期任务的计算机软件。用户的任务可能有时间和精度的要求，因此，有些应用软件需要嵌入式操作系统的支持，但在简单的应用场合下不需要专门的操作系统。

嵌入式应用对成本十分敏感，为减少系统的成本，除了精简每个硬件单元的成本外，还应尽可能地减少应用软件的资源消耗，尽可能地优化。

应用软件是实现嵌入式系统功能的关键，对嵌入式系统软件和应用软件的要求也与通用计算机软件有所不同。

嵌入式软件的特点如下。

(1) 软件要求固化存储。为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器中。

(2) 软件代码要求高质量、高可靠性。半导体技术的发展使处理器速度不断提高,也使存储器容量不断增加;但在大多数应用中,存储空间仍然是宝贵的,还存在实时性的要求。为此,程序编写和编译工具的质量要高,以减少程序二进制代码长度,提高执行速度。

(3) 系统软件的高实时性是基本要求。在多任务嵌入式系统中,对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度,是保证每个任务及时执行的关键,单纯通过提高处理器速度是低效的甚至是无法完成的。这种任务调度只能由优化编写的系统软件来完成,因此系统软件的高实时性是基本要求。

(4) 多任务实时操作系统成为嵌入式应用软件的必需。随着嵌入式应用的深入和普及,接触到的实际应用环境越来越复杂,嵌入式软件也越来越复杂。支持多任务的实时操作系统成为嵌入式软件必需的系统软件。

1.1.2 嵌入式系统的硬件/软件特征

嵌入式计算机系统与通用型计算机系统相比,在硬件和软件方面具有以下特征。

(1) 嵌入式系统通常是面向特定应用的,嵌入式 CPU 与通用型的最大不同就是嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群设计的系统中,它通常具有低功耗、体积小、集成度高等特点,能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部,从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化,移动能力大大增强,跟网络的耦合也越来越紧密。

(2) 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物,是一门综合技术学科。这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

(3) 由于空间和各种资源相对不足,嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计,量体裁衣、去除冗余,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能,这样才能在具体应用中对处理器的选择更具有竞争力。

(4) 嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,它的升级换代也是和具体产品同步进行的,因此嵌入式系统产品一旦进入市场,便具有较长的生命周期。

(5) 嵌入式系统是一个软、硬件高度结合的产物。为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中,而不是存储于磁盘等载体中。片上系统、板上系统的实现,使得以 PDA 等为代表的这类产品拥有更加熟悉的操作界面和操作方式,比传统的商务通等功能更加完善、实用。

(6) 嵌入式系统本身不具备系统自我开发能力,即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的,必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

(7) 为适应嵌入式分布处理结构和应用上网需求,面向 21 世纪的嵌入式系统要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对外部联网要求,嵌入设备必须配有通信接口,相应需要 TCP/IP 协议簇软件支持。由于家用电器相互关联(如防盗报警、灯光能源控制、影视设备和信息终端交换信息)及实验现场仪器的协调工作等要求,新一代嵌入式设备还必须具备 IEEE1394、USB、CAN、Bluetooth(蓝牙)或 IrDA 通信接口,同时也需要提供相应的

通信组网协议软件和物理层驱动软件。为了支持应用软件的特定编程模式，如 Web 或无线 Web 编程模式，还需要相应的浏览器，如 HTML、WML 等。

1.1.3 嵌入式操作系统

信息家电商机引发全球嵌入式操作系统平台大战，全球四大操作系统阵营 WinCE、Palm OS、EPOC 和 Linux 展开规格战，各拥有软件及硬件合作厂商争夺信息家电市场的份额。

微软视窗操作系统拥有在个人计算机(PC)上的操作系统占有率的绝对优势，使 WinCE 拥有强大的窗口资源支援。不过 Palm OS 操作系统拥有全球 PDA 产品 70%的市场占有率；同时获得 3COM、IBM 和索尼等跨国公司的支持。EPOC 是发展自欧洲的操作系统，是由世界上最大的三家移动电话厂商——诺基亚、爱立信和摩托罗拉共同开发、整合组成的新公司，开发出来的新操作系统；在三大电话厂商的合作下，EPOC 市场潜力很大，且占有率高，但应用功能以手机为主，目前并不开放授权。此外，在三大主流操作系统品牌外，Linux 也将是一股强劲的力量；由于 Linux 开放源代码，也成为各家厂商极力发展的操作系统，加上其核心小，潜力更为可观。

嵌入式操作系统(Operating System, OS)是嵌入到非易失性存储器中的软件，是嵌入式应用软件的开发平台，嵌入式操作系统用户的其他应用程序都建立在嵌入式操作系统之上。嵌入式操作系统是嵌入式系统的灵魂，它使得嵌入式系统的开发效率大大提高，系统开发的总工作量大大减少，并且极大地提高了嵌入式软件的可移植性。为了满足嵌入式系统的要求，嵌入式操作系统必须包含操作系统的一些最基本的功能，用户可以通过 API 函数来使用操作系统。

嵌入式操作系统通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面和标准化浏览器等。

嵌入式操作系统通常应用在实时环境下，因此嵌入式系统的实时性要求嵌入式操作系统也应该具有实时性，因此出现了嵌入式实时操作系统(Real Time Operating System, RTOS)。

嵌入式操作系统具有编码体积小、面向应用、实时性强、可移植性好、可靠性高及专用性强等特点。

下面简单介绍几种嵌入式操作系统。

1. 嵌入式 Linux

嵌入式 Linux 是一个发展最快、应用最为广泛的操作系统。嵌入式 Linux 本身的种种特性使其成为嵌入式开发工具中的首选。在进入市场的最初两年中，嵌入式 Linux 通过广泛应用获得了巨大的成功。随着嵌入式 Linux 的成熟，可提供更小的尺寸和更多类型的处理器支持，并从早期的实用阶段迈进到嵌入式的主流。嵌入式 Linux 现在已经有许多版本，包括强实时的嵌入式 Linux(如新墨西哥工学院的 RT-Linux 和堪萨斯大学的 KURT-Linux 等)和一般的嵌入式 Linux(如 PocketLinux 等)。其中，RT-Linux 通过把通常的 Linux 任务优先级设为最低，使所有的实时任务的优先级都高于它，从而达到既兼容通常的 Linux 任务又保证强实时性能的目的。另一种常用的嵌入式 Linux 是针对没有存储器管理

单元(Memory Management Unit, MMU)的处理器而设计的,它不能使用处理器的虚拟内存管理技术,它对内存的访问是直接的,所有程序中访问的地址都是实际的物理地址。AMR7 处理器内核内部没有 MMU,而在 AKM720T 及 ARM9 之后都有 MMU 部件。

2. VxWorks

VxWorks 操作系统是美国 WindRiver 公司与 1983 年设计开发的一种较有特色的实时操作系统,是目前嵌入式系统领域中应用很广泛,且市场占有率比较高的嵌入式操作系统。VxWorks 支持各种工业标准,包括可移植操作系统接口 POSIX、TCP/IP 网络协议等。VxWorks 操作系统由 400 多个相对独立、短小精悍的目标模块组成,用户可根据需要选择适当的模块来裁剪和配置系统;系统的核心是一个高效率的微内核,该微内核支持各种实时功能,包括快速多任务处理、中断支持、抢占式和轮转式调度等功能,微内核设计减轻了系统负载,并可快速响应外部事件。VxWorks 拥有良好的持续发展能力以及友好的用户开发环境,在实时操作系统领域占据一席之地。它以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高、精、尖技术及实时性要求极高的领域中,如卫星通信、军事演习、导弹制导、飞机导航等。在美国的 F-16、FA-18 战斗机及 B-2 隐形轰炸机和爱国者导弹上,甚至连 1997 年 4 月在火星表面登陆的火星探测器上也使用 VxWorks。它是目前嵌入式系统领域中使用最广泛、市场占有率最高的系统之一。它支持多种处理器,如 x86、i960、Sun Sparc、Motorola MC68000、MIPS RX000、Power PC、StrongARM 及 XScale 等。大多数的 VxWorks API 是专用的,但 VxWorks 价格昂贵。

3. QNX

QNX 是由加拿大 QSS 公司开发的分布式实时操作系统,它由微内核和一组共操作的进程组成,具有高度的可伸缩性,可灵活地剪裁,最小配置只占用几万字节的内存。因此,可以广泛地嵌入到智能机器、智能仪器仪表、机顶盒、通信设备和 PDA 等应用中。

4. Windows CE

Windows CE 的内核较小,能作为一种嵌入式操作系统应用到工业控制等领域。其优点在于便携性、提供对微处理器的选择以及非强行的电源管理功能。内置的标准通信能力使 Windows CE 能够访问 Internet 并收发 E-mail 或浏览 Web。它的模块化设计允许它对从掌上电脑到专用的工业控制器的用户电子设备进行定制。该操作系统的基本内核至少需要 200KB 的 ROM。此外,Windows CE 特有的与 Windows 类似的用户界面使最终用户易于使用。Windows CE 的缺点是速度慢、效率低、价格偏高及开发应用程序相对较难。

5. Palm OS

Palm OS 是 3COM 公司开发的嵌入式操作系统,在掌上电脑和 PDA 市场上独占其霸主地位,它有开放的操作系统应用程序接口 API,开发商可根据需要自行开发所需的应用程序。目前共有 3500 多个应用程序可以运行在 Palm Pilot 上,其中大部分应用程序为其他厂商和个人所开发,从而使 Palm Pilot 的功能不断增多。在开发环境方面,可以在 Windows 和 Macintosh 下安装 Palm Pilot 平台。Palm Pilot 可以与流行的 PC 平台上的应用

程序进行数据交换。

VxWorks、QNX、Palm OS、Windows CE 等这些专用操作系统均属于商业化产品，虽然能够为嵌入式应用提供较全面的支持，但是由于其价格昂贵、源代码封闭等原因，使得其应用受到限制。而且对于某些特殊的应用(如国防应用)，这些商业嵌入式操作系统并不适合。表 1-1 所示为几种嵌入式操作系统的比较。

表 1-1 几种嵌入式操作系统的比较

性能	Palm OS	Windows CE	嵌入式 Linux
大小	核心为几万字节，整个嵌入式环境也不大	核心占 500KB 的 ROM 和 250KB 的 RAM。整个系统大约为 1.5MB	核心从几万字节到 500KB。整个嵌入式环境最小才 100KB 左右
可开发定制	可以方便地开发定制	用户开发定制不方便，受 Microsoft 限制较多	用户可以方便地开发定制，可以自由卸装用户模块，不受任何限制
互操作性	互操作性强	互操作性比较强，Windows CE 可通过 OEM 的许可协议使用其他设备	互操作性很强
通用性	适用于多种 CPU 和多种硬件平台	适用于多种 CPU 和多种硬件平台	不仅适用于 X86 芯片，并且可以支持 30 多种 CPU 和多种硬件平台，开发和使用时都很容易
实用性	比较好	比较好	很好
应用领域	应用领域较广，特别适用于掌上电脑的开发	应用领域较广	应用领域特别广

1.1.4 学习嵌入式系统的意义

在现在日益信息化的社会中，计算机和网络已经全面渗透到人们日常生活的每一个角落。对于每个人，需要的已经不再仅仅是那种放在桌上处理文档，进行工作管理和生产控制的计算机“机器”；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。

未来的几年内，随着信息化、智能化、网络化的发展，嵌入式系统技术也将获得广阔的发展空间。进入 20 世纪 90 年代，嵌入式技术全面展开，目前已成为通信和消费类产品的共同发展方向。在通信领域，数字技术正在全面取代模拟技术。在广播电视领域，美国已开始由模拟电视向数字电视转变，欧洲的 DVB(数字电视广播)技术已在全球大多数国家推广。数字音频广播(DAB)也已进入商品化试播阶段。而软件、集成电路和新型元器件在

产业发展中的作用日益重要。所有上述产品中,都离不开嵌入式系统技术。像前途无可计量的维纳斯计划生产机顶盒,核心技术就是采用 32 位以上芯片级的嵌入式技术。在个人领域中,嵌入式产品将主要是个人商用,作为个人移动的数据处理和通信软件。由于嵌入式设备具有自然的人机交互界面,以 GUI 屏幕为中心的多媒体界面给人很大的亲和力。手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件以及彩色图形、图像已取得初步成效。

目前一些先进的 PDA 在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布,使用范围也将日益广阔。对于企业专用解决方案,如物流管理、条码扫描、移动信息采集等,这种小型手持嵌入式系统将发挥巨大的作用。在自动控制领域,嵌入式系统不仅可以用于 ATM 机、自动售货机、工业控制等专用设备,和移动通信设备相结合及与 GPS、娱乐相结合,嵌入式系统同样可以发挥巨大的作用。近期长虹推出的 ADSL 产品,结合网络、控制、信息,形成的智能化、网络化将是家电发展的新趋势。由此可见,嵌入式系统技术发展的空间真是无比广大。

1.2 嵌入式系统硬件

1.2.1 嵌入式处理器

1. 嵌入式处理器简介

普通个人计算机(PC)中的处理器是通用处理器,其设计非常丰富,因为这些处理器提供全部的特性和广泛的功能,故可以用于各种应用中。使用这些通用处理器的系统有大量的应用编程资源。例如,现代处理器具有内置的内存管理单元(MMU),提供内存保护和多任务能力的虚拟内存和通用操作系统。这些通用的处理器具有先进的高速缓存逻辑,许多还具有执行快速浮点运算的内置数字协处理器。它们提供接口,支持各种各样的外围设备,而且能源消耗大,产生的热量多,尺寸也大。其复杂性意味着这些处理器的制造成本昂贵。早期的嵌入式系统通常用通用处理器制造。

由于嵌入式系统的应用广泛,再加上大量先进的微处理器制造技术的发展,有越来越多的嵌入式系统用嵌入式处理器制造,而不再用通用处理器。主要从 4 个方面来考虑,即性能、尺寸、能耗和价格。

(1) 注重嵌入式处理器的尺寸、能耗和价格,应用于 PDA(个人数字助理)等不注重计算的设备。

(2) 更关注嵌入式处理器的性能,应用于路由器等计算密集型的设备。

(3) 注重嵌入式处理器的尺寸、能耗、价格和性能 4 方面的需求,应用于蜂窝电话(如手机)等设备。

2. 嵌入式处理器特点

嵌入式微处理器与普通台式计算机的微处理器设计在基本原理上是相似的,但是工作稳定性更高,功耗较小,对环境(如温度、湿度、电磁场、振动等)的适应能力强,体积更小,且集成的功能较多。在桌面计算机领域,对处理器进行比较时的主要指标就是计算速度,从 33MHz 主频的 386 计算机到现在 3GHz 主频的 Pentium 4 处理器,速度的提升是用