

中国通信学会普通高等教育『十二五』规划教材立项项目

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

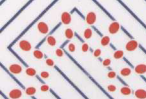
嵌入式系统 应用教程

赵宏 王小牛 任学惠 主编

Embedded Systems



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高校系列

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

嵌入式系统 应用教程

赵宏王小牛任学惠 主编

人民邮电出版社

北京

高校系列

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式系统应用教程 / 赵宏, 王小牛, 任学惠主编

— 北京: 人民邮电出版社, 2010.9

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

ISBN 978-7-115-22955-7

I. ①嵌… II. ①赵… ②王… ③任… III. ①微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第096547号

内 容 提 要

本书是进行嵌入式系统开发的入门教材。按照嵌入式系统学习的规律,本书将内容分为嵌入式操作系统基础、ARM 体系结构和指令系统、嵌入式实验三大部分。全书理论结合实践,用浅显易懂的语言来解释理论,用简单易行的实验来验证理论,使读者在掌握实际操作技能的同时加深对理论的理解。

本书可作为普通高等院校及高层次高等职业院校计算机类、电子类、通信类专业“嵌入式系统”相关课程的教材,也可作为广大嵌入式系统爱好者和工程技术人员的参考用书。

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材

嵌入式系统应用教程

-
- ◆ 主 编 赵 宏 王小牛 任学惠
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 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>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.25 2010 年 9 月第 1 版
字数: 518 千字 2010 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22955-7

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

本书 (no monoblock) 一书将为你提供嵌入式系统入门的指导和帮助。本书共分 3 部分，第 1 部分介绍嵌入式系统的基本知识，第 2 部分介绍嵌入式系统的开发环境，第 3 部分介绍嵌入式系统的开发应用。本书可作为高等院校和高层次高职院校计算机类、电子类、通信类专业学生“嵌入式系统”相关课程的教材，也可作为广大嵌入式系统爱好者和工程技术人员的参考用书。

前言

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可定制，适用于不同应用场合，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。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统、用户应用程序 4 个部分组成，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。嵌入式系统已经广泛应用于科学研究、工业控制、军事技术、交通通信、医疗卫生、消费娱乐等领域，人们日常使用的手机、PDA、汽车、智能家电、GPS 等均是嵌入式系统的典型代表。

本书分 3 部分，共 12 章，逐步引导具有不同专业背景和基础的读者进入嵌入式系统开发领域。

第 1 章到第 5 章为第一部分。其中，第 1 章介绍了嵌入式系统的基本知识；第 2 章介绍了 Linux 系统在上位机中的安装及其基本操作；第 3 章介绍了 Linux 系统的常用命令和文本编辑工具；第 4 章介绍了嵌入式系统开发中经常用于连接上位机和下位机的 Linux 网络服务；第 5 章介绍了嵌入式系统开发中经常用到的 Linux 系统下的 C 语言编译、调试和工程管理工作。

第 6 章到第 9 章为第二部分。其中，第 6 章介绍了嵌入式系统开发中常用的 CPU 芯片—ARM 的家族成员和体系结构；第 7 章介绍了 ARM 系列 CPU 的指令集；第 8 章介绍了 ARM 汇编语言程序设计基础；第 9 章介绍了 ARM 汇编与 C 语言混合编程技巧。

第 10 章到第 12 章为第三部分。其中，第 10 章包括 3 个实验，以博创经典 UP-TECH-S2410/P270-DVP 实验箱为例，介绍嵌入式系统开发环境的构建；第 11 章包括 9 个嵌入式基础实验，以循序渐进的方式对实验箱自带的简单模块进行访问和控制；第 12 章包括 8 个扩展实验，以设备驱动模块的编写、编译、加载和卸载为主要内容，对实验箱自带的比较复杂的模块进行访问和控制。

本书理论结合实践，用浅显易懂的语言来解释理论，用简单易行的实验来验证理论，使读者在掌握实际操作技能的同时加深对理论的理解。全书图文并茂，以简单的实例代码和图表方式对复杂的理论进行诠释，并对关键的实际操作步骤进行了屏幕截图，加快读者对内容的理解。

本书可作为普通高等院校和高层次高职院校计算机类、电子类、通信类专业学生“嵌入式系统”相关课程的教材，也可作为广大嵌入式系统爱好者和工程技术人员的参考用书。

本书提供了书中所涉及的所有程序源代码、各类工具软件、习题参考答案和教学用课

件,读者可以通过人民邮电出版社教学服务与资源网(www.ptpedu.com.cn)下载。

本书第一部分由赵宏编写,第二部分由王小牛编写,第三部分由任学惠、赵宏编写。

在成书的过程中,得到北京博创兴业科技有限公司的设备和技 术支持,兰州理工大学计算机与通信学院和西北师范大学数信学院的各位老师对本书的编写也给予了大力的支持,在此表示诚挚的谢意。

因时间仓促,错误在所难免,请广大读者批评指正,读者可通过 zhaoh@lut.cn 与编者联系。

编 者

2010 年 7 月

目 录

第一部分 嵌入式操作系统基础.....1	
第1章 嵌入式系统概论.....1	
1.1 嵌入式系统的定义.....1	
1.2 嵌入式系统的发展过程.....2	
1.3 嵌入式系统的开发流程.....3	
1.4 嵌入式操作系统介绍.....5	
习题.....6	
第2章 Linux 系统介绍.....7	
2.1 Linux 的特点.....7	
2.2 Linux 的安装.....9	
2.2.1 安装方式.....9	
2.2.2 以虚拟机方式安装 Linux.....10	
2.2.3 以多操作系统方式安装 Linux.....17	
2.3 X-Window 图形界面操作.....18	
2.3.1 桌面组件.....19	
2.3.2 面板.....22	
2.3.3 显示配置.....22	
2.3.4 常用应用程序.....23	
2.4 网络配置.....27	
2.4.1 图形界面方式.....28	
2.4.2 命令行方式.....29	
习题.....34	
第3章 Linux 常用命令.....35	
3.1 Linux 文件与目录.....35	
3.1.1 Linux 中的文件类型.....35	
3.1.2 常用目录.....36	
3.1.3 路径.....37	
3.1.4 对文件操作的用户分类.....37	
3.1.5 文件操作权限.....37	
3.1.6 文件名通配符.....38	
3.2 常用命令.....38	

3.2.1 文件类.....38	
3.2.2 权限类.....52	
3.2.3 磁盘类.....55	
3.2.4 模块类.....57	
3.3 输入输出转向和管道.....59	
3.3.1 输入转向.....59	
3.3.2 输出转向.....59	
3.3.3 管道.....59	
3.4 vi 编辑器的使用.....59	
3.4.1 启动 vi 编辑器.....60	
3.4.2 命令行状态.....60	
3.4.3 编辑状态.....62	
习题.....62	
第4章 与嵌入式系统开发相关的 Linux 服务.....63	
4.1 TFTP 服务.....63	
4.1.1 检测与安装软件包.....63	
4.1.2 服务器端设置.....65	
4.1.3 启动 TFTP 服务.....66	
4.1.4 设置防火墙.....67	
4.1.5 TFTP 服务客户端.....67	
4.2 Telnet.....70	
4.2.1 Telnet 简介.....70	
4.2.2 启动 Telnet 服务.....70	
4.2.3 测试服务.....70	
4.2.4 定制服务.....71	
4.3 NFS.....72	
4.3.1 NFS 介绍.....72	
4.3.2 服务器端的配置.....72	
4.3.3 启动服务.....73	
4.3.4 定制防火墙.....73	

4.3.5 使用服务.....	74	习题	100
习题	74	第 7 章 ARM 指令集	101
第 5 章 Linux 中的 C 语言编程	75	7.1 条件执行	101
5.1 GCC	75	7.2 操作数预处理	103
5.1.1 GCC 介绍	75	7.3 运算类指令	107
5.1.2 GCC 的使用	76	7.4 控制类指令	119
5.1.3 使用举例	77	7.5 传送类指令	126
5.2 GDB	77	7.6 Thumb 指令集概述	133
5.2.1 GDB 介绍	77	习题	133
5.2.2 GDB 的使用	77	第 8 章 ARM 汇编语言程序设计	134
5.2.3 GDB 的使用举例	78	8.1 用 ADS 调试 ARM 汇编语言程序	134
5.3 make 工具	79	8.1.1 编辑 ARM 汇编语言源程序	135
5.3.1 make 工具介绍	79	8.1.2 在命令行方式下调试	136
5.3.2 makefile 文件	79	8.1.3 在 IDE 环境下调试	136
5.3.3 make 使用举例	80	8.2 ARM 汇编语言程序基本结构	140
习题	81	8.2.1 ARM 汇编语言语句格式	140
第二部分 ARM 体系结构和指令系统	82	8.2.2 ARM 汇编语言程序格式	141
第 6 章 ARM 处理器	82	8.3 ARM 汇编语言程序中的符号和 表达式	143
6.1 ARM 公司简介	82	8.3.1 ARM 汇编语言中的符号	143
6.2 ARM 处理器的特点及其应用领域	83	8.3.2 ARM 汇编语言中的表达式	144
6.3 ARM ISA 概述	84	8.4 ARM 汇编语言伪操作	148
6.4 ARM 处理器系列	88	8.4.1 符号定义伪操作	148
6.4.1 ARM7 系列	89	8.4.2 数据定义伪操作	150
6.4.2 ARM9 系列	90	8.4.3 杂项伪操作	154
6.4.3 ARM9E 系列	90	8.4.4 汇编控制伪操作	160
6.4.4 ARM10E 系列	91	8.4.5 信息报告伪操作	161
6.4.5 ARM11 系列	91	8.4.6 框架描述伪操作	162
6.4.6 Cortex 系列	92	8.5 ARM 汇编语言程序伪指令	163
6.4.7 SecurCore 系列	93	8.5.1 ADR	163
6.5 ARM 处理器编程模型	94	8.5.2 ADRL	164
6.5.1 数据类型	94	8.5.3 LDR	165
6.5.2 处理器模式	94	8.6 ARM 汇编语言程序宏指令	167
6.5.3 寄存器组织	95	8.7 ARM 汇编语言程序子程序	169
6.5.4 异常处理机制	98	8.8 GNU ARM 汇编简介	170
6.5.5 存储器组织结构	99		

8.8.1 GNU ARM 汇编语言程序的 基本结构和程序运行环境	170	10.2.3 实验内容	193
8.8.2 GNU ARM 汇编语言伪操作	171	10.2.4 实验步骤	194
8.8.3 GNU ARM 汇编语言其他 主要操作符	172	10.2.5 习题	195
习题	172	10.3 给下位机烧写软件系统	196
第 9 章 C 语言与 ARM 汇编语言的混合 编程	173	10.3.1 实验目的	196
9.1 ATPCS 概述	173	10.3.2 实验设备	196
9.1.1 寄存器的使用规则	174	10.3.3 实验内容	196
9.1.2 数据栈使用规则	174	10.3.4 实验步骤	196
9.1.3 参数传递规则	175	10.3.5 习题	199
9.2 使用内嵌汇编器	175	第 11 章 基础实验	200
9.2.1 内嵌汇编的语法格式	176	11.1 熟悉 Linux 开发环境	200
9.2.2 内嵌汇编指令的用法	176	11.1.1 实验目的	200
9.2.3 内嵌汇编指令应用举例	177	11.1.2 实验设备	200
9.3 从汇编代码中访问 C 程序全局 变量	180	11.1.3 实验内容	200
9.4 ARM 汇编程序与 C 程序的相互 调用	181	11.1.4 实验步骤	200
9.4.1 ARM 汇编程序调用 C 程序	181	11.1.5 习题	202
9.4.2 C 程序调用 ARM 汇编程序	183	11.2 多线程应用程序设计	202
9.5 C 语言与 ARM 汇编混合编程的 实例	184	11.2.1 实验目的	202
9.5.1 安装 UArmJtag	184	11.2.2 实验设备	203
9.5.2 建立工程	185	11.2.3 实验内容	203
9.5.3 编译链接工程	189	11.2.4 多线程程序设计	203
9.5.4 调试程序	190	11.2.5 实验步骤	208
习题	191	11.2.6 习题	209
第三部分 嵌入式实验	192	11.3 串行端口程序设计	209
第 10 章 建立嵌入式系统开发环境	192	11.3.1 实验目的	209
10.1 认识博创经典 UP-TECH-S2410/ P270-DVP 实验箱	192	11.3.2 实验设备	209
10.2 建立开发环境	193	11.3.3 实验内容	209
10.2.1 实验目的	193	11.3.4 实验原理	209
10.2.2 实验设备	193	11.3.5 实验步骤	216
		11.3.6 习题	217
		11.4 A/D 接口实验	217
		11.4.1 实验目的	217
		11.4.2 实验设备	217
		11.4.3 实验内容	217
		11.4.4 实验原理	218

11.4.5	实验步骤	225
11.4.6	习题	225
11.5	D/A 接口实验	226
11.5.1	实验目的	226
11.5.2	实验设备	226
11.5.3	实验内容	226
11.5.4	实验原理	226
11.5.5	实验步骤	229
11.5.6	习题	229
11.6	CAN 总线通信实验	230
11.6.1	实验目的	230
11.6.2	实验设备	230
11.6.3	实验内容	230
11.6.4	实验原理	230
11.6.5	实验步骤	235
11.6.6	习题	236
11.7	RS-485 通信实验	237
11.7.1	实验目的	237
11.7.2	实验设备	237
11.7.3	实验内容	237
11.7.4	实验原理	237
11.7.5	实验步骤	241
11.7.6	习题	241
11.8	直流电动机实验	242
11.8.1	实验目的	242
11.8.2	实验设备	242
11.8.3	实验内容	242
11.8.4	实验原理	242
11.8.5	实验步骤	247
11.8.6	习题	248
11.9	7 段 LED 和点阵式 LED 实验	248
11.9.1	实验目的	248
11.9.2	实验设备	248
11.9.3	实验内容	248
11.9.4	实验原理	249

11.9.5	实验步骤	252
11.9.6	习题	252
第 12 章	扩展实验	253
12.1	小键盘实验	253
12.1.1	实验目的	253
12.1.2	实验设备	253
12.1.3	实验内容	253
12.1.4	实验原理	253
12.1.5	实验步骤	257
12.1.6	习题	257
12.2	嵌入式 Web 服务器	258
12.2.1	实验目的	258
12.2.2	实验设备	258
12.2.3	实验内容	258
12.2.4	实验原理	258
12.2.5	实验步骤	264
12.2.6	习题	264
12.3	利用 GDBServer 在下位机中 调试执行程序	265
12.3.1	实验目的	265
12.3.2	实验设备	265
12.3.3	实验内容	265
12.3.4	实验步骤	265
12.3.5	习题	266
12.4	设备驱动程序设计实验	267
12.4.1	实验目的	267
12.4.2	实验设备	267
12.4.3	实验内容	267
12.4.4	实验原理	267
12.4.5	实验步骤	279
12.4.6	习题	279
12.5	字符设备驱动实例——触摸屏 驱动实验	280
12.5.1	实验目的	280
12.5.2	实验设备	280

12.5.3 实验内容	280	12.7.2 实验设备	303
12.5.4 实验原理	280	12.7.3 实验内容	303
12.5.5 实验步骤	290	12.7.4 实验原理	303
12.5.6 习题	290	12.7.5 实验步骤	313
12.6 LCD 驱动控制实验	291	12.7.6 习题	313
12.6.1 实验目的	291	12.8 SD 卡使用实验	313
12.6.2 实验设备	291	12.8.1 实验目的	313
12.6.3 实验内容	291	12.8.2 实验设备	313
12.6.4 实验原理	291	12.8.3 实验内容	313
12.6.5 实验步骤	302	12.8.4 实验原理	314
12.6.6 习题	303	12.8.5 实验步骤	327
12.7 音频驱动及应用实验	303	12.8.6 习题	328
12.7.1 实验目的	303	参考文献	329

第一部分 嵌入式操作系统基础

本部分首先对嵌入式系统进行简要介绍，然后讲解嵌入式系统开发过程中上位机（宿主机）与下位机（目标机）的功能与作用，并以 Linux 操作系统为例说明上位机与下位机操作系统的安装与构建、开发过程中所用到的命令、系统服务、网络功能及其 C 语言编译、调试和管理工具。

第 1 章

章

嵌入式系统概论

本章首先从嵌入式系统的定义出发，介绍嵌入式系统的特点，然后从嵌入式系统的发展过程说明嵌入式系统的广泛应用，最后介绍了嵌入式系统开发的一般流程和开发各个阶段不同人员的分工与合作，并介绍了常见的嵌入式操作系统及其各自的特点。

1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是当前最热门的名词之一，已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、工业控制、文化娱乐、军事技术、电子商务等人们生活的方方面面。例如智能仪器仪表、导弹、汽车控制系统、机器人、ATM (Automatic Teller Machine)、信息家电、智能手机等内部都有嵌入式系统。

嵌入式系统是非通用系统，是根据嵌入对象的特点而定制的硬软件环境。例如，用于手机的嵌入式系统就不能直接应用到数字电视中，用于导弹制导的嵌入式系统就不能直接应用于汽车的控制系统等。

嵌入式系统是计算机、微电子、网络、通信、自动控制、机械制造、半导体、传感器等多种技术相互交叉融合，应用到某个具体对象的产物。它以技术发展为牵引，以实际应用为驱动，根据不同应用场景的需求，将属于不同学科领域的技术进行集成，以实现产品的智能性。

IEEE 给出的嵌入式系统定义是：控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置 (Devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。主要是从应用上加以定义的，从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。

目前国内一个普遍被认同的定义是：以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

从以下几方面来理解嵌入式系统的定义。

(1) 嵌入式系统是面向应用的，它必须与具体应用相结合才会具有生命力，才更具有优势。它具有很强的专用性，必须结合实际系统需求进行定制开发。

(2) 嵌入式系统是以计算机技术为主，与其他学科的先进技术相结合后的产物，这一点决定了它必然是一个技术密集、资金密集、应用分散、不断创新的知识集成系统。所以，介入嵌入式系统行业，必须有一个正确的定位。例如，Palm 之所以在 PDA (Personal Digital Assistant) 领域占有 70% 以上的市场，就是因为其立足于个人电子消费品，着重发展图形界面和多任务管理；而风河的 Vxworks 之所以在火星车上得以应用，则是因为其具有高实时性和高可靠性的优势。

(3) 嵌入式系统必须根据应用需求对软硬件进行裁剪，满足应用系统的功能、可靠性、成本、体积等要求。

实际上，嵌入式系统本身是一个外延极广的名词，凡是与产品结合在一起的具有嵌入式特点的系统都可以叫嵌入式系统。

1.2 嵌入式系统的发展过程

虽然嵌入式系统这个名词是近几年才提出的，但嵌入式的理念和技术却很早就已经存在了。从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天各种嵌入式微控制器、微处理器的广泛应用，嵌入式系统已经有 30 年左右的历史。嵌入式系统的发展经历了以下 4 个阶段。

1. 无操作系统阶段

该阶段是以单片机为核心的可编程控制器的形式存在的。没有操作系统的支持，只能通过汇编语言对系统进行直接控制，完成如监测、伺服、设备指示等功能。系统结构和功能相对单一，处理效率较低，存储容量较小，几乎没有用户接口。

2. 简单操作系统阶段

20 世纪 80 年代，随着微电子工艺水平的提高，出现把微处理器、I/O 接口、串行接口以及 RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory) 等部件集成在一片 VLSI (Very large scale integration) 中的微控制器，同时，出现简单的操作系统，形成以嵌入式微处理器为基础，以简单的操作系统为核心的初级嵌入式系统。其主要特点是处理器种类多，通用性较弱，系统效率较高，成本低，操作系统具有一定的兼容性、扩展性，但用户界面简单。

3. 实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代，在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下，嵌入式技术进一步飞速发展，而面向实时信号处理算法的 DSP (Digital Signal Processing) 产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高，嵌入式系统的软件规模也不断扩大，逐渐形成了实时多任务操作系统 (Real Time Operating System, RTOS)，

并开始成为嵌入式系统的主流。其主要特点是操作系统的实时性得到了很大改善,已经能够运行在各种不同类型的微处理器上,具有高度的模块化和扩展性,并且已经具备了文件和目录管理、设备管理、多任务、网络、图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)等功能,并提供大量的应用程序接口(Application Programming Interface, API),从而使得应用软件的开发变得更加简单。

4. 面向 Internet 阶段

随着 Internet 网络的飞速发展,将嵌入式系统应用到各种网络环境中的需求也越来越多。内置 Internet 网络功能的各种嵌入式系统设备的出现是该阶段的主要特点,例如 3G/4G (3rd-generation/4th-generation) 手机、上网本、PDA (Personal Digital Assistant)、Moblin (Mobile Linux) 等。

随着技术的进一步发展和完善,嵌入式系统的研究和应用产生了如下显著变化。

(1) 新的微处理器层出不穷,嵌入式操作系统自身结构的设计更加便于移植,能够在短时间内支持更多的微处理器。

(2) 嵌入式系统的开发成了一项系统工程,开发厂商不仅要提供嵌入式软硬件系统本身,同时还要提供强大的硬件开发工具和软件支持包。

(3) 通用计算机上使用的新技术、新观念开始逐步移植到嵌入式系统中,如嵌入式数据库、移动代理、实时 CORBA (Common Object Request Broker Architecture) 等,嵌入式软件平台得到进一步完善。

(4) 由于 Linux 操作系统具有源代码开放、系统内核小、执行效率高、网络结构完整等特点,各类嵌入式 Linux 操作系统迅速发展并应用到各种嵌入式产品中。

(5) 内置网络功能,具有友好的多媒体人机交互界面,能够实现互连互通的各种嵌入式产品将不断面市。

1.3 嵌入式系统的开发流程

嵌入式系统开发流程大体分为需求分析、系统定义与结构设计、硬件子系统设计、软件子系统设计、系统集成与测试、项目评估与总结等阶段,如图 1-1 所示。在开发流程的每一个阶段发现问题时都可以向上个阶段进行回溯,以对设计中的错误和缺陷进行校正。

1. 需求分析

该阶段主要通过充分的市场调研和与用户的交流,制定出要开发的系统的性能指标、操作方式、外观等需求参数。根据需求参数进行可行性论证,得出项目是否可行的结论。此阶段要形成需求描述、性能指标参数、可行性分析等文档。

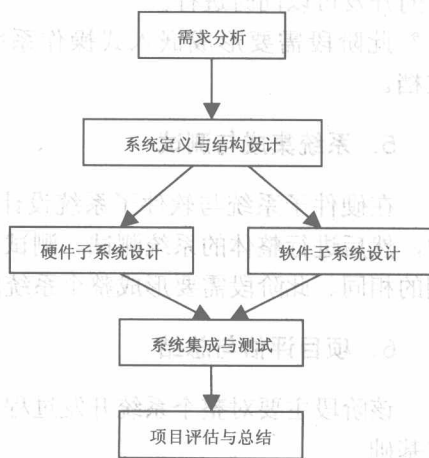


图 1-1 嵌入式系统开发流程

2. 系统定义与结构设计

根据需求分析寻找能构成系统的合适组件，形成多套方案。然后估计每套方案的成本与效益，在充分权衡利弊的基础上，选择恰当的方案进行实施。此阶段要形成系统设计说明、总体结构设计方案等文档。

3. 硬件子系统设计

该阶段主要完成电路原理图设计和 PCB (Printed Circuit Board) 布线。硬件设计应综合考虑多种因素，如选择合适的电路板，合理布局各个元器件的位置，避免元器件之间的相互干扰，方便与其他设备的连接，合理的产品外观、尺寸，供电方式等。此阶段需要形成电路设计原理图、PCB 布线图和硬件子系统详细设计文档。

4. 软件子系统设计

软件子系统设计通常包括嵌入式操作系统定制、设备驱动程序开发和应用程序开发等三项内容。

嵌入式操作系统定制是根据实际需要选定对选定的标准嵌入式操作系统的模块进行定制，删除冗余的不需要模块，添加所需要的模块（通常为设备驱动程序），使操作系统提供的功能满足整个系统的需要。

嵌入式系统通常是一个资源受限的系统，处理能力有限，直接在其硬件平台上开发软件比较困难。常用的方法是在处理能力较强的通用计算机上编写程序，然后通过交叉编译手段生成能在嵌入式系统中直接运行的可执行程序，最后将生成的可执行程序下载到嵌入式系统中运行。嵌入式程序的调试运行，既可以通过安装在通用计算机上的嵌入式开发模拟环境中进行，也可以通过与选定的硬件子系统相同或相似的嵌入式开发板或实验箱上进行。完成交叉编译的通用计算机称为宿主机或上位机，运行可执行程序的嵌入式开发板或试验箱称为目标机或下位机。

由于软件子系统的开发不是直接在硬件子系统上进行的，因此，软件子系统与硬件子系统的开发可以同时进行。

此阶段需要形成嵌入式操作系统定制文档、设备驱动程序开发文档和应用程序开发文档。

5. 系统集成与测试

在硬件子系统与软件子系统设计完成后，需要将软件子系统下载到硬件子系统的 flash 中，然后进行整体的系统测试。测试中需要使用不同的方法来测试系统的运行结果是否与预期的相同。此阶段需要形成整个系统的集成与测试文档。

6. 项目评估与总结

该阶段主要对整个系统开发过程中的成功经验和失败教训进行总结，为下一次的开发奠定基础。

1.4 嵌入式操作系统介绍

用于嵌入式系统开发的操作系统分为运行在下位机中的嵌入式操作系统和运行在上位机中的通用操作系统。运行在上位机中的操作系统为常见的 Windows、Linux、UNIX 等通用操作系统,在嵌入式系统开发过程中经常承担交叉编译、文件传输、超级终端等任务。通用操作系统在嵌入式系统开发过程中的具体应用将在第2章和实验部分进行详细讲解,此处仅对嵌入式操作系统做简单介绍。

嵌入式操作系统(Embedded Operating System, EOS)是整个嵌入式系统的灵魂,保存在非易失性存储器中,例如 flash,当嵌入式系统的电源被打开时,嵌入式操作系统进行引导并控制整个系统的运行。它管理嵌入式系统中各种硬件和软件资源,合理有效地组织嵌入式系统进行工作,且为用户提供良好的操作界面。

嵌入式操作系统所包含的模块随嵌入式系统的不同而有所区别,通常包括系统内核、与硬件相关的底层驱动程序模块、设备驱动程序模块、通信协议模块、操作界面、浏览器等。

嵌入式操作系统具有体积小、启动速度快、实时性强、可靠性高且具有专用性和可移植性等特点。

由于嵌入式技术的飞速发展和广泛应用,嵌入式操作系统的种类繁多,下面简单介绍几种常见的嵌入式操作系统。

1. 嵌入式 Linux

嵌入式 Linux 是以 Linux 为基础的嵌入式操作系统,广泛应用于移动电话、个人数字助理(PDA)、媒体播放器、消费性电子产品以及航空航天等领域中。

Linux 本来是一种通用操作系统,并不是针对嵌入式系统开发的,但由于其自身的诸多优点,很快被应用于嵌入式领域,逐渐成为主流的嵌入式操作系统。Linux 在嵌入式领域的优势表现如下。

(1) Linux 是开放源代码的,不存在黑箱技术,遍布全球的 Linux 爱好者为 Linux 提供强大的技术支持。

(2) Linux 属于微内核操作系统,内核小、效率高、运行稳定、可裁剪性好,并且更新速度很快。

(3) Linux 适用于多种 CPU 和多种硬件平台,是一个跨平台的系统。

(4) Linux 具有与生俱来的强大的网络功能,支持各种网络连接方式,很适合作为面向 Internet 的新一代嵌入式产品的操作系统。

(5) Linux 具有丰富的软件开发工具,能够满足嵌入式系统中软件部分的开发要求。

以上原因导致 Arm-Linux、Embedix、ETLinux、LEM、Linux Router Project、LOAF、uClinux、muLinux、ThinLinux、FirePlug、RT-Linux、PizzaBox Linux 等多种嵌入式 Linux 的产生。

嵌入式 Linux 家族已经逐渐成为最主要的嵌入式操作系统,占有越来越多的市场份额。

2. Windows CE

Windows CE 是微软公司基于掌上型电脑所开发的 32 位嵌入式操作系统,可看作是

Windows 95 的精简版本, 具有相当出色的图形用户界面。CE 中的 C 代表袖珍 (Compact)、消费 (Consumer)、通信能力 (Connectivity) 和伴侣 (Companion), E 代表电子产品 (Electronics)。

Windows CE 具有模块化、结构化和基于 Win32 应用程序接口和与处理器无关等特点。不仅继承了 Windows 优秀的图形界面, 而且可以直接使用 Windows 95/98 上的编程工具 (如 Visual Basic、Visual C++ 等) 进行应用程序开发, 使绝大多数的应用软件只需简单的修改和移植就可以在 Windows CE 平台上继续使用。

Windows CE 是目前常用的嵌入式操作系统之一, 最新版本是 6.5。

3. VxWorks

VxWorks 是美国 Wind River System 公司 (风河公司) 推出的一个实时操作系统。它具有高性能的内核、友好的用户开发环境, 是实时操作系统领域的佼佼者, 广泛应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域, 如卫星通信、军事演习、导弹制导、飞机导航等。1997 年 4 月在火星表面登陆的火星探测器上就使用了 VxWorks 操作系统。但 VxWorks 价格昂贵, 在大众化的嵌入式产品中使用不多。

4. Palm OS

Palm OS 是 3Com 公司的 Palm Computing 部针对掌上电脑开发的一种 32 位的嵌入式操作系统, 目前, 3Com 公司的 Palm Computing 已经独立成一家公司。

Palm OS 主要应用在 PDA 上, 一度占据了 90% 的 PDA 市场份额, 由于 Palm OS 与 Windows CE 市场定位相似, 都定位于掌上型电脑领域, 因此, Palm OS 与 Windows CE 的竞争非常激烈。

5. μ C/OS-II

μ C/OS-II 是一个源代码开放、可剪裁、结构小巧、抢先式的实时操作系统, 主要用于中小型嵌入式系统中, 执行效率高、占用空间小、可移植性强, 具有良好的实时性能和可扩展性, 最多支持 64 个任务, 可运行在大部分嵌入式微处理器上。

习 题

1. 嵌入式系统具有什么特点? 举出 3 个嵌入式系统的实例。
2. 嵌入式系统的发展经历了哪些阶段?
3. 画出嵌入式系统的开发流程图。
4. 嵌入式操作系统有哪些? 举出 4 个实例并说明特点。

第 2 章 Linux 系统介绍

由于 Linux 逐渐成为嵌入式系统开发过程中的主要操作系统，因此，本书选用红旗（Red Flag）Asianux Workstation 3 作为上位机操作系统，选用北京博创兴业科技有限公司开发的 UP-TECH-S2410/P270-DVP 试验箱自带的 Arm-Linux 作为下位机操作系统。其他版本的通用 Linux 和嵌入式 Linux 系统与此相似。

本章首先简介 Linux 系统的特点；然后主要介绍嵌入式系统开发环境构建过程中给上位机安装红旗 Asiaunix Workstation 3 的几种常用方法和安装过程，并对嵌入式开发过程中可能要用到的 X-Window 组件进行介绍；最后针对嵌入式系统开发工程中上位机与下位机经常通过网络连接的现状，分图形界面和命令两种方式，专门讲解了上位机中 Linux 系统的网络设置过程。

2.1 Linux 的特点

Linux 操作系统是芬兰赫尔辛基大学的 Linus Torvalds 在 Minix 操作系统的基础上开发的，Minix 是一种免费的小型 UNIX 系统，是当时 Linus Torvalds 学习操作系统课程的实践平台。Linus Torvalds 对 Minix 系统进行了重大改进，并将其命名为“Linux”。

1991 年 8 月，Linus 完成了 Linux 的 0.01 版，但是，很不完善，甚至没有软盘驱动程序。1991 年 10 月，Linus 将自己编写的 Linux 源码放到大學的 FTP 服务器上供自由下载，在基于 GPL（General Public License）的架构之下，由 Linus 本人和许多自由软件开发者，通过 Internet 共同努力，不断完善 Linux，从而使 Linux 逐渐成为一种能运行在多种硬件平台（Intel、Alpha、Power PC、Sun Sparc）之上，源代码公开，功能强大、运行稳定、高效、遵守 POSIX（Portable Operating System Interface）标准、与 UNIX 兼容的开放操作系统。

Linux 具有以下几个特点。

1. 开放性

由于 Linux 是在基于 GPL 的架构之下，通过 Internet 由全球众多的自由软件爱好者维护，因此，用户可以根据自己的实际需求来定制模块、修改源码，使系统满足自己的个性化需求。

2. 多用户

在 Linux 系统中，可以创建多个用户账号，这些用户账号对相同资源（例如文件、服务