



北京市高等教育精品教材立项项目

ARM & Linux 嵌入式系统教程 (第2版)

马忠梅 祝烈煌 编著
李善平 叶楠



北京航空航天大学出版社

TP332/31=2

2008



北京市高等教育精品教材立项项目

ARM & Linux 嵌入式系统教程 (第2版)

马忠梅 祝烈煌 编著
李善平 叶楠

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

围绕最流行的 32 位 ARM 处理器和源码开放的 Linux 操作系统,讲述嵌入式系统的概念、软硬件组成、开发过程,以及嵌入式 Linux 的应用程序和驱动程序的开发设计方法。全书共 7 章,包括:嵌入式系统基础到 ARM 体系结构等涉及硬件的内容,嵌入式 Linux 到应用程序、驱动程序、图形用户界面等软件内容。最后推出自主知识产权的轻量级图形用户界面 lwGUI,介绍开源 Gtk+ 图形库的使用方法,给出嵌入式 Linux 在手机中的应用。

与第 1 版相比,本书主要升级了 ARM 指令集说明,修订了应用程序和驱动程序设计内容,以适用于国内流行的实验箱。

本书特点是内容经过实际教学使用,所带程序取材于学生的毕业设计和课程实验,不强调具体的 ARM 核芯片。

本书适用于没有操作系统知识的高校师生和单片机开发人员学习嵌入式系统,可作为高等院校相关专业本科、研究生嵌入式系统理论课程的教材,也可作为从事嵌入式系统开发的工程技术人员学习嵌入式 Linux 的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

ARM&Linux 嵌入式系统教程/马忠梅等编著. —2 版.

北京:北京航空航天大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81124-351-2

I. A… II. 马… III. ①微处理器,ARM—教材②Linux 操作系统—教材 IV. TP332 TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 101321 号

ARM & Linux 嵌入式系统教程(第 2 版)

马忠梅 祝烈煌

李善平 叶楠 编著

责任编辑 董云凤 张金伟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:24.25 字数:543 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-351-2 定价:34.00 元

前 言

随着 Internet 的普及,我们已进入了网络时代,进入了后 PC 时代。不仅是 PC 机能上网,各种各样的嵌入式设备都可以上网。后 PC 时代出现了信息电器,如掌上电脑、个人数字助理 PDA、可视电话、移动电话、TV 机顶盒、电视会议机和数码相机等嵌入式设备。能上网的嵌入式设备需要加上 TCP/IP 网络协议。由于 8/16 位单片机的速度不够快以及内存不够大,较难满足嵌入式设备的上网要求。随着集成电路的发展,32 位微处理器的价格不断下降,已到用户大量使用的时候。32 位 RISC 微处理器更是受到青睐,领先的是 ARM 嵌入式微处理器系列。ARM 公司在 32 位 RISC 处理器市场占有率超过了 75%。ARM 的成功之处在于它是知识产权供应商,是设计公司。ARM 本身不生产芯片,靠转让设计许可,由合作伙伴公司来生产各具特色的芯片。ARM 商业模式的强大之处在于其价格合理,全世界范围有超过 400 个合作伙伴。ARM 公司专注于设计,其内核功耗少,成本低,功能强,特有 16 位/32 位双指令集。ARM 已成为移动通信、手持计算、多媒体数字消费等嵌入式解决方案的 RISC 标准。

过去大量的 8/16 位单片机的应用,这只是嵌入式系统的初级阶段。伴随着网络时代的来临,出现了机顶盒、路由器和调制解调器等 Internet 设备。一句话,Internet 的基础设施都是嵌入式系统,而且在高端嵌入式应用中,32 位微处理器现在已是很常见的了。国内 IT 产品的开发应该更新理念,即逐步采用 32 位高性能的 CPU;采用 C 等高级语言编程;采用操作系统及其平台进行开发;采用模块化方式从事项目开发应用。Linux 从 1991 年问世到现在,短短的十几年时间已经发展成为功能强大、设计完善的操作系统之一,它不仅可以与各种传统的商业操作系统分庭抗争,在新兴的嵌入式系统领域内也获得了飞速发展。嵌入式 Linux 以其可应用于多种硬件平台、内核高效稳定、源码开放、软件丰富以及完善的网络通信和文件管理机制的优良特性,成为嵌入式系统领域中的一个研究热点。Linux 开放源码,内核可裁减,非常适用于嵌入式系统教学。

由全国大学生电子设计竞赛组委会主办、Intel 公司协办的“全国大学生电子设计竞赛——嵌入式系统专题竞赛”,进一步丰富了全国大学生电子设计竞赛的形式和内容,推动了高校信息电子类专业的教学改革、课程体系及实验室建设,各高校纷纷开设嵌入式系统课程。本书第 1 版就是由开课后的讲稿整理而成,第 2 版又在第 1 版基础上进行了适度增减。全书共 7 章,各章节内容安排如下:

第 1 章为嵌入式系统的基础知识,讲述嵌入式系统概念、嵌入式系统应用、嵌入式系统硬

前 言

件——嵌入式处理器和嵌入式系统软件——嵌入式操作系统。

第2章介绍嵌入式系统开发的特点、开发流程、调试方法和板级支持包的功能。

第3章介绍嵌入式 Linux 及其应用、Linux 的特点及其内核特征、主流的嵌入式 Linux 和 Linux 的实时化改造。

第4章详细介绍 ARM 体系结构和编程模型,分类给出 ARM 指令集的说明,介绍 Thumb-2 指令集的特点,最后介绍 ARM 汇编语言程序设计方法。

第5章是嵌入式 Linux 应用程序的开发方法,包括 Linux 的使用、gcc 编译器的使用、应用程序的编写方法,侧重于 LCD、USB 摄像头和音频等多媒体内容。

第6章给出 LED 显示、键盘和触摸屏驱动程序的设计方法。

第7章介绍现流行的3种图形用户界面,给出自主知识产权的图形用户界面 lwGUI。侧重于 GTK+ 图形库的基本控件设计和 GTK+ 在手机上应用。

2003 年下决心编写此书第1版是由于当时国内缺少合适的嵌入式系统教材,现在编写第2版是考虑国内目前的教材要么偏理论,要么过于强调接口技术、汇编编程和移植。只有把嵌入式 Linux 的应用推动起来,国内高端嵌入式应用才能健康发展。目前更缺少嵌入式软件人才,我们只希望培养学生对嵌入式系统的兴趣,更多地侧重多媒体、人机交互和 GUI 的程序设计。考虑到整个篇幅都适用于教学,本次修订删去了第1版的 ARM 核嵌入式系统芯片和嵌入式 Linux 开发实例两章。第4章~第7章进行了重新修订。

本书内容为我们实际教学实践的总结,现已面向我校计算机学院本科生开设“嵌入式计算机系统”课程,面向全校研究生开设“嵌入式系统”选修课。课程围绕 ARM 和 Linux,按照验证性实验、综合性实验和创新性实验3个层次,逐渐培养学生开发应用程序和驱动程序的能力。我们实验教学中心采购了博创公司的 UP-NetARM2410 和周立功公司的 MagicARM2410 实验箱。针对实验设备的多样性,采用驱动程序屏蔽的方法,给学生提供一致的应用程序编程接口,利用实验设备共性的部分开设基础的验证性实验。同时,针对各种外设开发出实验样例程序,如液晶屏、触摸屏、小键盘和摄像头等,由学生自由组合成综合性实验。对于实验设备选配件以及未开发的部分,允许学生自主命题,申请器件进行创新性设计。我们已把基于 GTK+ 图形库的开源 LiPS 手机平台移植到实验箱上。

值得欣慰的是,所培养的学生可直接参与基于 ARM 的嵌入式 Linux 项目的开发。Intel 大学计划和 Freescale (原 Motorola 公司半导体部)大学计划提供的板子在我们的本科生手中就可以自行用起来。现在我们的实验箱已由 ARM7 升级为 ARM9,配置 640×480 真彩液晶显示屏,每个实验箱都配备 USB 摄像头。回想接触嵌入式 Linux 之初,几乎买遍了市面上的嵌入式 Linux 图书也没找到一个模块化驱动程序的开发样例,最后不得不求助我们在 Freescale 公司工作的学生。我们从只会画单色圆的实验设备做起,到完成所有实验样例,深深感到只把 Linux 移植到具体的板子远远满足不了嵌入式 Linux 应用的要求,应用程序和驱动程序开发是嵌入式系统开发的关键。

嵌入式系统课程的开设得到了许多人的支持和帮助,感谢 Intel 公司大学计划部朱文利、

王宇琪女士和应用工程师刘文峰、李旻先生, Freescale 公司大学计划部袁航女士和工程师姜波女士、袁华彬先生, ARM 中国公司总裁谭军先生。感谢北京麦克泰软件技术公司的何小庆、江文瑞先生, 法国电信的余义军、叶楠先生, Atmel 公司北京代表处的施膺、叶勇建先生, ARM 授权培训中心旋极公司的刘明先生给我们的学生提供实践的机会。

本书是由北京理工大学和浙江大学的老师带领学生协作完成的。北京理工大学马忠梅老师负责全书内容的统稿以及第1~2章、第4章和第7章的编写, 祝烈煌老师负责第5章和第6章的编写, 许多内容取材于学生的毕业设计和课程实验。叶楠、朱中涛、李海、王英会、骆磊、吴永波、谭杰、王炜、杜慧、齐尧、李睿、王霞、方宁、曾宏安同学参与 ARM & Linux 开发设计实践。第3章嵌入式 Linux 操作系统部分为浙江大学李善平老师及其学生(拼音序)陈鲁川、高庆、李程远、刘文峰、马天驰、王焕龙、王伟波、解超、谢科先的研究成果, Intel 公司的刘文锋先生审阅了该部分内容。

希望此书能对我国嵌入式系统教学和嵌入式系统应用推广工作有所帮助。希望借此书感谢帮助过我们的人, 感谢国内把 Linux 用于嵌入式系统的先驱们, 在此谨向他们深表谢意。

作者

2008年5月

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础

1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统组成	2
1.1.3 嵌入式系统的特点	4
1.1.4 嵌入式系统的应用	5
1.1.5 实时系统	6
1.2 嵌入式处理器	8
1.2.1 嵌入式处理器的分类	8
1.2.2 嵌入式微处理器	8
1.2.3 微控制器	9
1.2.4 DSP 处理器	10
1.2.5 片上系统	10
1.2.6 典型的嵌入式处理器	11
1.3 嵌入式操作系统	13
1.3.1 操作系统的概念和分类	13
1.3.2 实时操作系统	17
1.3.3 常见的嵌入式操作系统	19
1.4 实时操作系统的内核	24
1.4.1 任务管理	24
1.4.2 任务间的通信和同步	31
1.4.3 存储器管理	32
1.4.4 定时器和中断管理	33
1.5 嵌入式技术发展现状及趋势	34

目 录

习 题	35
第 2 章 嵌入式系统开发过程	
2.1 嵌入式软件开发的特点	36
2.2 嵌入式软件的开发流程	38
2.3 嵌入式系统的调试	44
2.4 板级支持包	48
习 题	49
第 3 章 嵌入式 Linux 操作系统	
3.1 Linux 及其应用	50
3.1.1 Linux 与 Unix 和 GNU	50
3.1.2 Linux 的特点	55
3.1.3 Linux 的应用及发展	58
3.2 Linux 内核	63
3.2.1 Linux 的内核特征	63
3.2.2 进程管理	67
3.2.3 存储管理	73
3.2.4 文件系统管理	75
3.2.5 设备管理	82
3.2.6 嵌入式 Linux 的引导过程	86
3.3 主流嵌入式 Linux 系统	89
3.3.1 MontaVista Linux	89
3.3.2 μ Clinux	93
3.3.3 RTLinux	96
3.3.4 RTAI	98
3.4 嵌入式 Linux 的实时化改造	99
习 题	104
第 4 章 ARM 体系结构	
4.1 ARM 体系结构概述	106
4.1.1 ARM 体系结构的特点	106
4.1.2 ARM 处理器结构	109
4.1.3 ARM 处理器内核	119

4.1.4 ARM 处理器核	130
4.2 ARM 编程模型	132
4.2.1 数据类型	132
4.2.2 处理器模式	132
4.2.3 处理器工作状态	133
4.2.4 寄存器组织	134
4.2.5 异 常	139
4.2.6 存储器和存储器映射 I/O	141
4.3 ARM 基本寻址方式	143
4.4 ARM 指令集	148
4.4.1 条件执行	148
4.4.2 指令分类说明	149
4.4.3 Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别	183
4.4.4 Thumb-2 指令集的特点	185
4.5 ARM 汇编语言程序设计	189
4.5.1 预定义的寄存器和协处理器名	189
4.5.2 ARM 汇编程序规范	190
4.5.3 ARM 汇编程序设计	193
习 题	198

第5章 嵌入式 Linux 应用程序开发

5.1 开发平台简介	199
5.1.1 S3C2410 简介	199
5.1.2 平台上的资源	205
5.2 开发环境的建立	206
5.2.1 宿主机环境搭建	206
5.2.2 目标机和宿主机的连接	207
5.2.3 网络文件系统搭建	208
5.3 Linux 的使用基础	210
5.3.1 Linux 常用命令	210
5.3.2 vi 编辑器的使用	218
5.4 make 工具和 gcc 编译器	220
5.4.1 应用程序的开发流程	220
5.4.2 make 管理项目简介	221

目 录

5.4.3 gcc 编译器的使用	222
5.5 简单嵌入式 Linux 程序开发	225
5.5.1 编写和运行应用程序	225
5.5.2 嵌入式 Linux 例子演示	226
5.6 LCD 程序设计	228
5.6.1 LCD 显示原理	228
5.6.2 帧缓冲原理	230
5.6.3 帧缓冲使用程序	235
5.6.4 LCD 程序开发	237
5.6.5 BMP 文件显示	246
5.7 USB 摄像头程序	252
5.7.1 摄像头驱动的安装	252
5.7.2 Video4Linux 模块应用	253
5.7.3 USB 摄像头图像显示	257
5.8 音频采集和回放程序	264
5.8.1 采样原理和采集方式	264
5.8.2 音频设备的编程实现	265
习 题	269

第6章 嵌入式 Linux 驱动程序开发

6.1 嵌入式 Linux 的设备管理	270
6.1.1 Linux 驱动程序概念	270
6.1.2 驱动程序结构	271
6.1.3 Linux 对中断的处理	273
6.1.4 设备驱动的初始化	274
6.2 设备驱动程序开发过程	276
6.2.1 设备驱动程序开发流程	276
6.2.2 模块化驱动程序设计	277
6.2.3 设备驱动加到 Linux 内核中	286
6.3 LED 驱动程序	289
6.3.1 LED 的硬件接口	289
6.3.2 LED 驱动程序设计	290
6.3.3 LED 驱动程序调用	292
6.4 键盘驱动程序	293

6.4.1 键盘的硬件接口	293
6.4.2 键盘驱动程序的实现	293
6.5 触摸屏驱动程序	297
6.5.1 触摸屏工作原理	297
6.5.2 触摸屏接口设计	298
6.5.3 ADC 和触摸屏接口专用寄存器	302
6.5.4 触摸屏的驱动程序	304
6.5.5 触摸屏应用举例	311
6.6 Linux 2.6 内核	314
6.6.1 Linux 2.6 内核嵌入式应用特点	314
6.6.2 Linux2.6 与 2.4 内核驱动程序的区别	316
习 题	318
第7章 嵌入式 Linux 的 GUI	
7.1 嵌入式 GUI	319
7.2 嵌入式 GUI 的结构特征	320
7.2.1 开源的图形库 GTK+	320
7.2.2 面向实时的 MiniGUI	321
7.2.3 应用广泛的 Qt Embedded	322
7.2.4 轻量级的 lwGUI	324
7.3 lwGUI 系统的设计与实现	326
7.3.1 图形抽象层和输入抽象层的设计与实现	326
7.3.2 消息驱动机制的设计与实现	342
7.3.3 窗口的设计与实现	345
7.3.4 控件的设计与实现	351
7.4 lwGUI 系统的应用	354
7.4.1 绘图板界面设计和功能设计	354
7.4.2 绘图板应用的实现	355
7.5 GTK+图形库的应用	358
7.5.1 GTK+核心概念及思想	358
7.5.2 GTK+图形库的控件设计	361
7.5.3 GTK+图形库在手机上应用	372
习 题	375
参考文献	376

第 1 章

嵌入式系统基础

1.1 嵌入式系统概述

1.1.1 嵌入式系统的定义

所谓嵌入式系统(Embedded Systems),实际上是“嵌入式计算机系统”的简称,它是相对于通用计算机系统而言的。在有些系统里也有计算机,但是计算机是作为某个专用系统中的一个部件而存在的。像这样“嵌入”到更大、专用的系统中的计算机系统,称之为“嵌入式计算机”、“嵌入式计算机系统”或“嵌入式系统”。

在日常生活中,早已存在许多嵌入式系统的应用,如天天必用的移动电话、带在手腕上的电子表、烹调用的微波炉、办公室里的打印机、汽车里的供油喷射控制系统、防锁死刹车系统(ABS),以及现在流行的个人数字助理(PDA)、数码相机、数码摄像机等等,它们内部都有一个中央处理器 CPU。

嵌入式系统无处不在,从家庭的洗衣机、电冰箱、小汽车,到办公室里的远程会议系统等,都属于可以使用嵌入式技术进行开发和改造的产品。嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义。一个手持的 MP3 和一个 PC104 的微型工业控制计算机都可以认为是嵌入式系统。

根据电气工程师协会(IEE)的定义,嵌入式系统是用来控制或监视机器装置或工厂等的大规模系统的设备。

可以看出此定义是从应用方面考虑的。嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机电等附属装置。

国内一般定义为:以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁减,从而能够适应实际应用中对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统在应用数量上远远超过了各种通用计算机。一台通用计算机的外部设备中就包含了 5~10 个嵌入式微处理器,键盘、硬盘、显示器、Modem、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、集线器等,均是由嵌入式处理器进行控制的。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空航天、军事装备、消费类产品等方面,嵌入式系统都有用武之地。

第1章 嵌入式系统基础

美国汽车大王福特公司的高级经理曾宣称：“福特出售的‘计算能力’已超过了 IBM。”由此可以想像嵌入式计算机工业的规模和广度。美国著名未来学家尼葛洛庞帝在 1999 年 1 月访华时曾预言“四五年以后，嵌入式智能电脑将是继 PC 和因特网之后最伟大的发明”。

1.1.2 嵌入式系统组成

嵌入式系统通常由嵌入式处理器、外围设备、嵌入式操作系统和应用软件等几大部分组成。

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不同点在于其大多工作在为特定用户群设计的系统中。它通常把通用计算机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，并具有高效率、高可靠性等特征。

大的硬件厂商会推出自己的嵌入式处理器，因而现今市面上有 1 000 多种嵌入式处理器芯片，其中使用最为广泛的有 ARM、MIPS、PowerPC、MC68000 等。

2. 外围设备

外围设备是指在一个嵌入式系统中，除了嵌入式处理器以外用于完成存储、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分为以下 3 类：

- ▶ 存储器：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。
- ▶ 接口：应用最为广泛的包括并口、RS-232 串口、IrDA 红外接口、SPI 串行外围设备接口、I²C(Inter IC)总线接口、USB 通用串行总线接口、Ethernet 网口等。
- ▶ 人机交互：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，为了使嵌入式开发更方便、快捷，需要具备一种稳定、安全的软件模块集合，用以管理存储器分配、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，即嵌入式操作系统。嵌入式操作系统的引入大大提高了嵌入式系统的功能，方便了应用软件的设计，但同时也占用了宝贵的嵌入式系统资源。一般在比较大型或需要多任务的应用场合才考虑使用嵌入式操作系统。

嵌入式操作系统常常有实时要求，所以嵌入式操作系统往往又是“实时操作系统”。早期的嵌入式系统几乎都用于控制目的，从而或多或少都有些实时要求，所以从前“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电脑等设备的出现，也有了许多不带实时要求的嵌入式系统。另一方面，由于 CPU 速度的提高，一些原先认为是“实时”的反应速度现在已经很普遍了。这样，一些原先需要在“实时”操作系统上才能实

第1章 嵌入式系统基础

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. 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,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。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。

由于嵌入式应用对成本十分敏感,因此,为减少系统成本,除了精简每个硬件单元的成本外,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有所不同。嵌入式软件的特点如下:

- ▶ 软件要求固态化存储。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。
- ▶ 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的长度,提高执行速度。
- ▶ 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和无法完成的。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。
- ▶ 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。

典型嵌入式系统的硬件和软件基本组成如图 1-1 和图 1-2 所示。

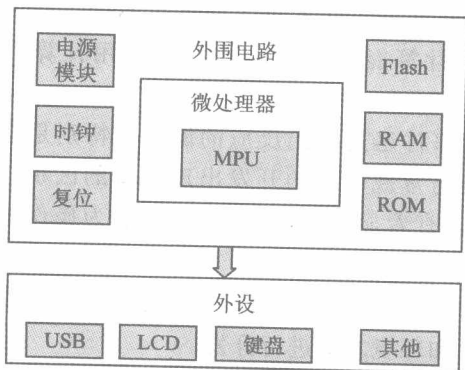


图 1-1 典型嵌入式系统基本组成——硬件

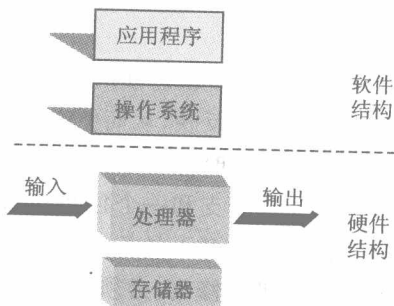


图 1-2 典型嵌入式系统基本组成——软件

第1章 嵌入式系统基础

1.1.3 嵌入式系统的特点

由于嵌入式系统是应用于特定环境下,面对专业领域的应用系统,所以与通用计算机系统的多样化和适用性不同。它与通用计算机系统相比具有以下特点:

- ▶ 嵌入式系统通常是面向特定应用的,一般都有实时要求。嵌入式处理器大多工作在为特定用户群所设计的系统中。它通常具有低功耗、体积小、集成度高、成本低等特点,从而使嵌入式系统的设计趋于小型化、专业化,也使移动能力大大增强,与网络的耦合也越来越紧密。
- ▶ 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体工艺、电子技术和通信网络技术与各领域的具体应用相结合的产物。这一特点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。
- ▶ 嵌入式系统与具体应用有机地结合在一起,它的升级换代也与具体产品同步进行。因此,嵌入式系统产品一旦进入市场,一般具有较长的生命周期。
- ▶ 嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计,在保证稳定、安全、可靠的基础上量体裁衣,去除冗余,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能。这样,才能最大限度地降低应用成本。在具体应用中,对处理器的选择决定了其市场竞争力。
- ▶ 嵌入式系统常常还有减小功耗的要求。这一方面是为了省电,因为嵌入式系统往往以电池供电;另一方面是要减少发热量,因为嵌入式系统中通常没有风扇等排热手段。
- ▶ 可靠性与稳定性对于嵌入式系统有着特别重要的意义,因此即使逻辑上的系统结构相同,在物理组成上也会有所不同。同时,对使用的元器件(包括接插件、电源等等)的质量和可靠性要求都比较高,因此元器件的平均无故障时间 MTBF(Mean Time Between Failure)成为关键性的参数。此外,环境温度也是需要重点考虑的问题。
- ▶ 嵌入式系统提供的功能以及面对的应用和过程都是预知的、相对固定的,而不像通用计算机那样有很大的随意性。既然是专用系统,在可编程方面就不需要那么灵活。一般也不会用嵌入式系统作为开发应用软件的环境,在嵌入式系统上通常也不会运行一些大型的软件。一般而言,嵌入式系统对 CPU 计算能力的要求并不像通用计算机那么高。
- ▶ 许多嵌入式系统都有实时要求,需要有对外部事件迅速作出反应的能力。特别是在操作系统中有所反映,从而使嵌入式软件的开发与常规软件的开发出现显著的区别。典型的嵌入式实时操作系统与常规的操作系统的也有着显著的区别,并因而成为操作系统的一个重要分支和一个独特的研究方向。
- ▶ 嵌入式系统本身不具备自举开发能力。即使设计完成以后,用户通常也不能对其中的程序功能进行修改,必须有一套交叉开发工具和环境才能进行开发。
- ▶ 通用计算机的开发人员通常是计算机科学或者计算机工程方面的专业人士,而嵌入式

第1章 嵌入式系统基础

系统开发人员却往往是各个应用领域中的专家,这就要求嵌入式系统所支持的开发工具易学、易用、可靠、高效。

归纳嵌入式系统的几个特点如下:

- ▶ 软硬件一体化,集计算机技术、微电子技术和行业技术为一体;
- ▶ 需要操作系统支持,代码小,执行速度快;
- ▶ 专用紧凑,用途固定,成本敏感;
- ▶ 可靠性要求高;
- ▶ 多样性,应用广泛,种类繁多。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,它必须与具体应用相结合才会具有生命力,才会更具有优势。嵌入式系统是与应用紧密结合的,它具有很强的专用性,必须结合实际系统需求进行合理的裁减利用。嵌入式系统必须根据应用需求对软硬件进行裁减,满足应用系统的功能、可靠性、成本、体积等要求。

同时还应该看到,嵌入式系统本身还是一个外延极广的名词。凡是与产品结合在一起并具有微处理器的系统都可以叫做嵌入式系统,而且有时很难以给它一个准确的定义。现在人们谈及嵌入式系统时,某种程度上指近些年比较热门、具有操作系统的嵌入式系统。

1.1.4 嵌入式系统的应用

嵌入式系统以应用为中心,强调体积和功能的可裁减性,是以完成控制、监视等功能为目标的专用系统。在嵌入式应用系统中,系统执行任务的软硬件都嵌入在实际的设备环境中,通过专门的 I/O 接口与外界交换信息。一般它们执行的任务程序不由用户编制。

嵌入式系统主要用于各种信号处理与控制,目前已在国防、国民经济及社会生活各领域普及应用,用于企业、军队、办公室、实验室以及个人家庭等各种场所。

- ▶ 军用: 各种武器控制(火炮控制、导弹控制、智能炸弹制导引爆装置),坦克、舰艇、轰炸机等陆海空各种军用电子装备,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。从海湾战争到最近的伊拉克战争都有广泛使用。我国嵌入式计算机最早用于导弹控制。
- ▶ 家用: 我国各种信息家电产品(如数字电视机、机顶盒、数码相机、VCD/DVD 音响设备、可视电话、家庭网络设备、洗衣机、电冰箱、智能玩具等)广泛采用微处理器、微控制器及嵌入式软件,EMIT(嵌入式 Internet 技术)已用于社区对家用电、水、煤气表远程抄表以及洗衣机遥控。
- ▶ 工业用: 各种智能测量仪表、数控装置、可编程控制器、控制机、分布式控制系统、现场总线仪表及控制系统、工业机器人、机电一体化机械设备、汽车电子设备等。广泛采用微处理器和控制器芯片级、标准总线的模板级及嵌入式计算机系统级。
- ▶ 商用: 各类收款机、POS 系统、电子秤、条形码阅读机、商用终端、银行点钞机、IC 卡输

第1章 嵌入式系统基础

入设备、取款机、自动柜员机、自动服务终端、防盗系统、各种银行专业外围设备等。

- ▶ 办公用：复印机、打印机、传真机、扫描仪、激光照排系统、安全监控设备、手机、寻呼机、个人数字助理(PDA)、变频空调设备、通信终端、程控交换机、网络设备、录音录像及电视会议设备、数字音频广播系统等。女娲 Hopen 嵌入式软件已用于机顶盒、网络电视、电话、手机、PDA 等。
- ▶ 医用电子设备：各种医疗电子仪器，如 X 光机、超声诊断仪、计算机断层成像系统、心脏起搏器、监护仪、辅助诊断系统、专家系统等。

目前，嵌入式系统应用最热门的有以下几种：

① 个人数字助理 PDA。目前市面上已经出现基于 Linux 的 PDA，它具有网络、多媒体等强大的功能。康柏公司 iPAQ 掌上电脑一般都预装 Pocket PC 操作系统。iPAQ 采用 Intel 公司的 StrongARM 处理器，尽管这种处理器支持 Linux 系统，但其刚问世时却是使用 Microsoft 公司的 Pocket PC 操作系统。现在，PDA 手机已成为新的热点。

② 机顶盒 STB。所谓的机顶盒 STB(Set Top Box)，表面上理解只是放在电视机上的盒子，能提供通过电视机直接上网的功能。但它更吸引人的地方在于简单易用，是专为那些不了解电脑的人设计的。现今用户端机顶盒的趋势是朝微型电脑发展，即逐渐集成电视和电脑的功能，成为一个多功能服务的工作平台，用户通过此设备即可实现交互式数字电视、数字电视广播、Internet 访问、远程教学、会议电视、电子商务等多媒体信息服务。

③ IP 电话。IP 电话(IP Phone)把电话网和 Internet 结合成一个功能强大的通信网络，它在 IP 网络上实时传输被压缩的语音信息。IP 电话的出现，使得方便的语音通信与网络价格低廉的特性很好地结合起来，因而具有良好的应用前景。IP 电话以数字形式作为传输媒体，占用资源小，因此成本很低，价格便宜。

嵌入式系统的应用正在从狭窄的应用范围、单一的应用对象以及简单的功能，向着未来社会需要的应用需求进行转变。社会对嵌入式系统的需求正在慢慢扩大，特别是最近几年随着国际互联网的发展，从 PC 时代步入到后 PC 时代，对信息家电的需求越来越明显。嵌入式系统在信息家电的应用，就是对嵌入式系统概念和应用范围的一个变革，从而打破了过去 PC 时代被单一微处理器厂家和单一操作系统厂家垄断的旧局面，出现了一个由多芯片、多处理器占领市场的新局面。

1.1.5 实时系统

实时系统(Real Time Systems)是指产生系统输出的时间对系统至关重要的系统。从输入到输出的滞后时间必须足够小到一个可以接受的时限内。因此，实时逻辑的正确性不仅依赖于计算结果的正确性，还取决于输出结果的时间。

实时系统是一个能够在指定或者确定的时间内完成系统功能以及对外部或内部事件在同步或异步时间内做出响应的系统。