



普通高校“十二五”规划教材

嵌入式Linux操作系统 原理与应用 (第2版)

文全刚 主编
张荣高 副主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

嵌入式 Linux 操作系统 原理与应用(第 2 版)

文全刚 主 编
张荣高 副主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容分成3个部分:第一部分介绍嵌入式操作系统基础,包括第1章和第2章;第二部分介绍基于嵌入式Linux软件的开发,包括bootloader、驱动程序的设计、内核的裁减和移植及应用程序的开发,本书的重点在于介绍应用程序的开发,这部分内容由第3章~第6章组成;第三部分是实验内容,包括第7章。相比第1版,本书更加注重实践操作部分,并对部分内容进行了整理、优化和改进。

本教材非常适合于应用型本科生的教学,此外,对于嵌入式入门工程师来说,这本书也能满足他们的需要。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式Linux操作系统原理与应用 / 文全刚主编. --
2版. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2014.2
ISBN 978-7-5124-1471-6

I. ①嵌… II. ①文… 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(2014)第025983号

版权所有,侵权必究。

嵌入式Linux操作系统原理与应用(第2版)

文全刚 主 编

张荣高 副主编

责任编辑 董立娟

*

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(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1000 1/16 印张:27 字数:575千字

2014年2月第2版 2014年2月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-1471-6 定价:54.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

第 2 版前言

随着物联网、云计算、4G 等战略性新兴产业的快速发展,嵌入式系统已逐渐成为新兴产业中的支撑技术,嵌入式 Linux 也得到了广泛应用。根据 IT 企业对嵌入式 Linux 研发相关岗位的需求,结合作者多年的教学实践和项目经验,本书对第 1 版内容进行了整理、优化和修改,在章节编排上注重实践操作部分,采用循序渐进、由浅入深的方法。

本书的主要内容分成 4 个部分:

第 1 篇 嵌入式 Linux 基础篇(第 1~2 章)

本篇主要包括嵌入式系统基础和 Linux 编程基础。介绍了 Linux 安装、设置、目录结构和文件;介绍了 linux 命令、shell 编程和启动流程;从 Linux 下 C 语言开发工具入手,详细地讲解了 Linux 文件 I/O 编程、进程控制编程、进程间通信和多线程编程等。

第 2 篇 嵌入式 Linux 系统篇(第 3 章)

本篇主要包括嵌入式 Linux 开发环境、嵌入式系统引导代码、Linux 内核的裁剪与移植、嵌入式文件系统移植、Linux 设备驱动程序开发。

第 3 篇 嵌入式 Linux 应用篇(第 4~6 章)

本篇主要包括嵌入式应用程序设计、嵌入式数据库编程、嵌入式网络编程等。

第 4 篇 嵌入式 Linux 实验篇(第 7 章)

本篇主要内容介绍了嵌入式 Linux 的 10 个基本实验,大部分实验与硬件平台无关,在虚拟机中就可以实现。

本书内容是属于嵌入式课程学习的嵌入式操作系统模块,适用于应用型高等院校嵌入式系统方向的课程教学,也适合嵌入式 Linux 爱好者自学。

感谢家人对我的大力支持。本书成书仓促,作者水平有限,错误和不足之处在所难免,谨请读者和同行专家批评指正,我的邮箱:wen_sir_125@163.com。

文全刚
2014.01 于珠海

前 言

目前,嵌入式产品已经无处不在,通信、信息、数字家庭和工业控制等领域,随处都能见到嵌入式产品。国内也掀起了学习嵌入式知识的高潮,嵌入式知识的学习范围很广,不仅要学习软件知识还要学习硬件知识,学习嵌入式知识要以应用为导向。因此,建议学习者首先选择一个主流芯片,以点带面、循序渐进地进行学习。从应用市场来看,以 ARM 为核心的嵌入式技术逐渐成为我国嵌入式教学的主流。

结合多年的教学实践,我们编写了嵌入式系列教材:《汇编语言程序设计——基于 ARM 体系结构》、《嵌入式系统接口原理与应用》、《嵌入式 Linux 操作系统原理与应用》和《嵌入式系统软件设计与应用》。这个系列教材,为学生学习嵌入式技术提供了一个系统的方案。通过本书的学习,读者能掌握嵌入式 Linux 软件的开发过程,能掌握嵌入式应用软件开发技术,如 MiniGUI、QT 和嵌入式数据库技术等。

本书内容

本书主要内容分成 3 个部分:第一部分介绍嵌入式操作系统基础,包括第 1 章和第 2 章;第二部分介绍基于嵌入式 Linux 软件的开发,包括 BootLoader、驱动程序的设计、内核的裁剪和移植及应用程序的开发,本书的重点在于介绍应用程序的开发,这部分内容由第 3 章~第 6 章组成;第三部分是实验内容,包括第 7 章。

具体章节安排如下

第 1 章嵌入式系统基础:首先介绍了嵌入式系统的基本概念和嵌入式软件的基本结构;然后介绍了嵌入式操作系统的基础知识,本章以 Linux 作为嵌入式操作系统进行介绍,对于 Linux 命令,本书只是介绍嵌入式开发中常用到的命令而不是所有的命令;本章最后对 Linux 基础知识进行了介绍,重点是 Linux 常用命令。

第 2 章 Linux 编程基础:首先介绍 Linux 环境下的 C 语言编程工具 VIM、GCC、GDB 和 Make 工程管理等内容;然后结合实例介绍了 C 语言开发和调试过程;接下来介绍了 Linux 下的集成开发环境 Eclipse 的开发调试过



程;最后对 Linux 基础编程如文件 I/O 编程、进程控制编程、进程间通信编程和多线程编程进行了系统介绍。

第 3 章基于 Linux 的嵌入式软件开发:首先介绍了通用的嵌入式软件体系结构以及基于 Linux 的嵌入式软件结构;然后介绍 Linux 操作系统下嵌入式软件开发的基本流程和嵌入式开发环境;接下来由底向上分别介绍了嵌入式系统的引导代码、Linux 内核结构及移植、嵌入式文件系统及移植。通过这些介绍,使读者对嵌入式软件的开发流程有个基本的认识,在开发类似项目时,起到举一反三的作用。

第 4 章嵌入式应用程序设计:首先介绍了嵌入式软件开发中常用的 GUI;然后重点介绍了目前比较流行的 GUI 平台 MiniGUI 和 QT/Embedded 系统;并结合实例介绍了这两种平台下应用软件开发的基本流程。

第 5 章嵌入式数据库:首先介绍了嵌入式数据库的基本知识;然后对常用的嵌入式数据库 Sqlite、mSQL 和 Berkeley DB 进行了介绍。

第 6 章嵌入式 Linux 网络编程:首先介绍了两种网络参考模型;然后重点介绍 TCP 和 UDP 的基本原理;接下来介绍了网络程序设计的基础知识和 SOCKET 编程用到的基本函数;最后结合实例分别介绍了如何编写 TCP 程序和 UDP 程序。

第 7 章嵌入式操作系统实验:主要介绍了嵌入式 Linux 操作系统的实验过程,共分为 10 个实验,考虑到读者使用的硬件平台各异,因此尽量淡化硬件平台的要求,大部分实验与硬件平台无关,在虚拟机中就可以实现,部分实验需要实验箱的支持。通过本章的学习和操作,读者可以掌握 Linux 平台下软件设计的基本过程,从而在此基础上设计出具体的嵌入式产品。基本实验都有相应的视频作参考,读者可根据实际情况选做其中的实验。

本书特点

① 本书内容是嵌入式课程学习的嵌入式操作系统模块,适用于高等院校嵌入式方向及嵌入式资格认证考试的教学,也适合读者自学。

② 本书编写中融入了作者多年的项目经验,所有内容在编者五年的教学过程中不断地修改和完善,编写时注重实践操作部分,尽量避免繁琐、高深的理论介绍,强调培养学生的动手能力。

③ 配套的实验教学视频,结合国内常用的 UP-NETARM2410S 实验平台,本书所有的程序都可以在 Fedora11、Ubuntu9.0 开发环境中进行在线调试。针对这些实验,本书提供了相关的视频供学习者参考,真正做到了手把手教学。

④ 配套资料,本书中用到的工具软件、学习资料和所有的源程序都可以

从北京航空航天大学出版社网站的“下载中心”得到,利于教学与自学。

本书在编写过程中得到了北京航空航天大学何立民教授、北京航空航天大学出版社马广云博士的很多帮助和鼓励。本书编写过程中得到了吉林大学珠海学院 2010 年度教材立项的支持。参与本书编写工作的人员如下:吉林大学珠海学院傅晓阳、张荣高、纪绪、王艺璇、高铭言、陈红玲、洪霞、李一男、孙宝胜、曲志鹏、王懿鹏、王轶溥、罗建、乔睿、李泽维、蔡础城、林璇等,湖南铁道职业技术学院刘志成副教授。感谢王元良院长、庞振平副院长、教学工作部杨文彦主任、姜云飞教授、陈守孔教授等对我的大力支持。在编写本书期间,本人有幸在台湾宜兰大学进修学习,宜兰大学资工所的赵涵捷教授、郑岫盈教授、陳偉銘博士、陳懷恩博士等给予了大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。感谢家人对我的大力支持。本书成书仓促,作者水平有限,错误和不足之处在所难免,谨请读者和同行专家批评指正。我的邮箱:wen_sir_125@163.com。

文全刚

2010 年 10 月于珠海



第 1 章 嵌入式系统基础	1	1.5.3 磁盘管理与维护命令	55
1.1 嵌入式系统概述	1	1.5.4 系统管理与设置命令	57
1.1.1 嵌入式系统的基本概念	1	1.5.5 网络相关命令	60
1.1.2 嵌入式系统的应用领域	2	1.5.6 压缩备份命令	62
1.1.3 嵌入式系统的组成	3	1.6 Linux 下 shell 编程	64
1.1.4 嵌入式系统的特点	4	1.6.1 shell 程序概述	64
1.1.5 嵌入式系统的发展趋势	5	1.6.2 shell 变量	65
1.2 嵌入式操作系统	8	1.6.3 shell 特殊字符	67
1.2.1 操作系统的基本功能	8	1.6.4 shell 流程控制	69
1.2.2 嵌入式操作系统	9	1.6.5 shell 函数定义	75
1.2.3 嵌入式操作系统体系结构	11	1.6.6 shell 程序示例	76
1.2.4 嵌入式操作系统的选择	14	1.7 Linux 启动过程分析	78
1.2.5 几种代表性嵌入式操作系统比较	15	习题一	83
1.3 嵌入式 Linux 基础	17	第 2 章 Linux 编程基础	84
1.3.1 Linux 简介	17	2.1 Linux 下的 C 语言编程	84
1.3.2 嵌入式 Linux	22	2.1.1 Linux 下的 C 语言编程概述	84
1.3.3 Linux 的安装基础	23	2.1.2 Linux 下的 C 语言开发流程	86
1.3.4 基于虚拟机的 Linux 的安装	26	2.2 Vim 编辑器	89
1.3.5 Linux 虚拟机的设置	32	2.2.1 Vim 的模式	89
1.4 Linux 目录结构及文件	36	2.2.2 Vim 常用操作	91
1.4.1 Linux 文件系统	36	2.3 GCC 编译器	95
1.4.2 Linux 目录结构	39	2.3.1 GCC 编译器简介	95
1.4.3 文件类型及文件属性	41	2.3.2 GCC 编译流程	96
1.5 Linux 常用操作命令	45	2.3.3 GCC 常用编译选项	100
1.5.1 Shell 命令基础	45	2.3.4 库依赖	102
1.5.2 文件与目录相关命令	46	2.4 GDB 调试器	103



2.4.1	GDB 概述	103
2.4.2	GDB 使用流程	103
2.4.3	GDB 基本命令	109
2.4.4	GdbServer 远程调试	114
2.5	Make 工程管理器	115
2.5.1	Make 工程管理器概述	115
2.5.2	Makefile 基本结构	116
2.5.3	Makefile 变量	121
2.5.4	Makefile 规则	125
2.5.5	Makefile 常用函数	126
2.5.6	使用自动生成工具生成 Makefile	132
2.6	Linux 下的集成开发环境	136
2.6.1	Eclipse 集成开发环境简介	136
2.6.2	Eclipse 的开发流程	139
2.6.3	使用 CVS 进行版本管理	142
2.7	文件 I/O 编程	148
2.7.1	文件 I/O 编程基础	148
2.7.2	基本 I/O 操作	149
2.7.3	标准 I/O 操作	153
2.7.4	嵌入式 Linux 串口通信编程	157
2.8	进程控制编程	166
2.8.1	Linux 下的进程概述	166
2.8.2	Linux 进程编程	169
2.8.3	Zombie 进程	179
2.8.4	Linux 守护进程	180
2.9	进程间的通信和同步	185
2.9.1	Linux 下进程间通信概述	185
2.9.2	管道通信	186
2.9.3	共享内存通信	195
2.9.4	其他方式通信	198
2.10	多线程编程	199
2.10.1	线程的基本概念	199
2.10.2	线程的实现	200
2.10.3	修改线程属性	202
2.10.4	多线程访问控制	204
	习题二	207

第 3 章 基于 Linux 的嵌入式软件开发

		208
3.1	嵌入式软件结构	208
3.1.1	嵌入式软件体系结构	208
3.1.2	基于 Linux 的嵌入式软件	211
3.2	嵌入式软件开发流程	212
3.2.1	嵌入式 Linux 设计概述	212
3.2.2	基于开发板的二次开发	213
3.2.3	基于 Linux 的嵌入式软件开发流程	214
3.3	嵌入式 Linux 开发环境	216
3.3.1	ARM 处理器硬件开发平台	216
3.3.2	建立嵌入式交叉编译环境	217
3.3.3	配置开发环境	218
3.4	嵌入式系统引导代码	228
3.4.1	BootLoader 简介	228
3.4.2	常用的 BootLoader	230
3.4.3	BootLoader 基本原理	231
3.4.4	BootLoader 移植实例一:U-Boot	236
3.4.5	BootLoader 移植实例二:Vivi	245
3.5	Linux 内核结构及移植	247
3.5.1	Linux 内核结构	247
3.5.2	Linux 的移植	252
3.5.3	修改 Linux 内核源码	255
3.5.4	内核的裁减	257
3.5.5	内核的编译和下载	260
3.6	嵌入式文件系统及移植	260
3.6.1	嵌入式文件系统的基础	260
3.6.2	嵌入式文件系统的设计	264
3.6.3	嵌入式根文件系统的制作	266
3.7	Linux 设备驱动概述	267
3.7.1	Linux 设备驱动的作用	267
3.7.2	Linux 设备驱动程序的基本结构	268
3.7.3	Linux 设备驱动的分类	269

3.7.4 Linux 设备文件和设备文件系统	270	习题四	326
3.8 设备驱动程序接口	271	第 5 章 嵌入式数据库	327
3.8.1 Linux 设备驱动的加载方式	271	5.1 嵌入式数据库概述	327
3.8.2 设备驱动程序接口	274	5.1.1 嵌入式数据库简介	327
3.8.3 Linux 设备的控制方式	275	5.1.2 嵌入式数据库的特点及分类	329
3.9 Linux 设备驱动开发流程	277	5.1.3 嵌入式数据库的应用	331
3.9.1 设备驱动开发流程	277	5.2 SQLite 数据库	332
3.9.2 字符设备驱动框架	281	5.2.1 SQLite 数据库概述	332
习题三	289	5.2.2 SQLite 数据库的安装	334
第 4 章 嵌入式应用程序设计	290	5.2.3 SQLite 数据库的基本命令	335
4.1 嵌入式应用程序设计概述	290	5.2.4 SQLite 数据库的管理命令	337
4.1.1 嵌入式软件的分类型	290	5.2.5 SQLite 数据库的 API 函数	339
4.1.2 嵌入式 GUI	291	5.2.6 SQLite 数据库的实例分析	341
4.1.3 常用嵌入式 GUI	292	习题五	343
4.2 QT 编程基础	294	第 6 章 嵌入式 Linux 网络编程	344
4.2.1 QT 简介	294	6.1 网络协议概述	344
4.2.2 QT/Embedded	296	6.1.1 网络协议参考模型	344
4.2.3 QT 开发环境的搭建	298	6.1.2 TCP/IP 协议族	345
4.2.4 QT 程序设计基本流程	299	6.1.3 TCP 和 UDP	346
4.3 信号和槽机制	301	6.2 网络编程基础	350
4.3.1 基本概念	301	6.2.1 Socket 概述	350
4.3.2 信号和槽机制的原理	303	6.2.2 基本数据结构和函数	350
4.3.3 信号和槽实例	306	6.2.3 Socket 基础编程	353
4.4 图形界面设计	308	6.3 TCP 通信编程	354
4.4.1 QT 的窗口类 Widgets	308	6.3.1 TCP 通信过程	354
4.4.2 使用 QT Designer 编写 QT 程序	309	6.3.2 TCP Server 程序设计	360
4.4.3 QT 中常用的控件	315	6.3.3 TCP Client 程序设计	363
4.5 使用 Eclipse 开发 QT 程序	318	6.3.4 TCP 程序测试过程	364
4.5.1 QT 插件的安装	318	6.4 UDP 通信编程	365
4.5.2 Eclipse 平台下 QT 开发过程	319	6.4.1 UDP 通信过程	365
4.6 QT 程序综合实例	322	6.4.2 UDP 服务器端程序设计	366
4.6.1 需求说明	322	6.4.3 UDP 客户端程序设计	367
4.6.2 界面设计	322		
4.6.3 功能实现	323		



6.4.4 UDP 程序测试过程	369	7.6 BootLoader 内核和根文件系统	401
习题六	370	7.7 驱动程序设计	407
第 7 章 嵌入式操作系统实验	371	7.8 QT 应用编程	411
7.1 Linux 常用命令	371	7.9 嵌入式数据库	413
7.2 Linux 下 C 语言开发环境	377	7.10 网络通信编程	414
7.3 文件 I/O 及进程控制编程	382	参考文献	417
7.4 进程通信以及多线程编程	387		
7.5 嵌入式 Linux 开发环境	396		

第 1 章

嵌入式系统基础

本章首先介绍嵌入式系统的基本概念和嵌入式软件的基本结构；然后介绍嵌入式操作系统的基础知识，以 Linux 作为嵌入式操作系统进行介绍，对于 Linux 命令，本书只是介绍嵌入式开发中常用到的命令而不是所有的命令；最后对 Linux 基础知识进行介绍，重点是 Linux 常用命令。

1.1 嵌入式系统概述

1.1.1 嵌入式系统的基本概念

除了 PC 以外，数码相机、摄像机、大街上的交通灯控制、监视系统、数字式的示波器、数字万用表、数控洗衣机、电冰箱、VCD、DVD 和 iPad 等，都是嵌入式系统的典型产品。可以说，嵌入式系统已经渗透到我們生活中的每个角落，包括工业、服务业和消费电子等，那么什么是嵌入式系统呢？

根据 IEEE 的定义，嵌入式系统是“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）。这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。

不过上述定义并不能充分体现嵌入式系统的精髓，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、软件硬件可裁减、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积和功耗严格要求的专用计算机系统。

根据这个定义，可从 3 个方面来理解嵌入式系统：

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，才更具有优势。因此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剪利用。

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

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、成本和体积等要求。因此,如果能建立相对通用的软硬件基础,然后在其上开发出适应各种需要的系统,则是一个比较好的发展模式。目前的嵌入式系统的核心往往是一个只有几 KB 到几十 KB 大小的微内核,需要根据实际应用进行功能扩展或者裁剪,由于微内核的存在,这种扩展能够非常顺利地进行。

1.1.2 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统种类繁多,广泛应用于工业、交通、商业、金融和国防等领域。据美国 Gartner Group 公司调查,2000 年全世界投入使用的嵌入式系统约有 500 亿个,如自动控制领域的工业自动化仪表与检测设备、化工过程自动化设备、电网系统、自动抄表设备、空中交通控制系统、自动收费、航天器姿态与轨道定位装置、移动电话、自动柜员机、IC 卡系统、POS 系统、全球定位系统(GPS)、手持电脑(HPC)、个人数字处理(PDA)、信息家电和 Internet 接入终端设备等。嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景,其应用领域可以包括:

1) 工业控制

基于嵌入式芯片的工业自动化设备将获得长足的发展,目前已经有大量的 8 位、16 位和 32 位嵌入式微控制器在应用中,网络化是提高生产效率和产品质量、减少人力资源的主要途径,如工业过程控制、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备监测和石油化工系统。就传统的工业控制产品而言,低端型采用的往往是 8 位单片机。但是随着技术的发展,32 位和 64 位的处理器逐渐成为工业控制设备的核心,在未来几年内必将获得长足的发展。

2) 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了普通百姓的家庭,只需要几百元,就可以随时随地找到你的位置。

3) 信息家电

这将成为嵌入式系统最大的应用领域,冰箱、空调等的网络化、智能化将引领人们的生活步入一个崭新的空间。即使你不在家里,也可以通过电话线、网络进行远程控制。在这些设备中,嵌入式系统将大有用武之地。

4) 家庭智能管理系统

水、电、煤气表的远程自动抄表,安全防火、防盗系统,其中嵌有的专用控制芯片将代替传统的人工检查,并实现更高、更准确和更安全的性能。目前在服务领域,如远程点菜器等已经体现了嵌入式系统的优势。

5) POS 网络及电子商务

公共交通无接触智能卡 CSC(Contactless Smart Card)发行系统、公共电话卡发行系统、自动售货机和各种智能 ATM 终端将全面走入人们的生活,到时手持一卡就

可以行遍天下。

6) 环境工程与自然

在很多环境恶劣,地况复杂的地区,如水文资料实时监测,防洪体系及水土质量监测、堤坝安全,地震监测网,实时气象信息网,水源和空气污染监测等,嵌入式系统将实现无人监测。

7) 机器人

嵌入式芯片的发展将使机器人在微型化、高智能方面的优势更加明显,同时会大幅度降低机器人的价格,使其在工业领域和服务领域获得更广泛的应用。

这些应用中,可以着重于在控制方面的应用。就远程家电控制而言,除了开发出支持 TCP/IP 的嵌入式系统之外,家电产品控制协议也需要制订和统一,这需要家电生产厂家来做。同样的道理,所有基于网络的远程控制器件都需要与嵌入式系统之间实现接口,然后再由嵌入式系统来控制并通过网络实现控制。因此,开发和探讨嵌入式系统有着十分重要的意义。

1.1.3 嵌入式系统的组成

嵌入式系统是软硬件结合紧密的系统,一般而言,嵌入式系统由嵌入式硬件平台和嵌入式软件组成。其中,嵌入式系统硬件平台包括各种嵌入式器件,如图 1-1 下半部分所示的是一个以 ARM 嵌入式处理器为中心,由存储器、I/O 设备、通信模块以及电源等必要辅助接口组成的嵌入式系统。嵌入式系统的硬件核心是嵌入式微处理器,有时为了提高系统的信息处理能力,常外接 DSP 和 DSP 协处理器(也可内部集成),以完成高性能信号处理。

嵌入式系统不同于普通计算机组成,是量身定做的专用计算机应用系统,在实际应用中的嵌入式系统硬件配置非常精简,除了微处理器和基本的外围电路以外,其余的电路都可根据需求和成本进行裁剪、定制,非常经济、可靠。随着计算机技术、微电子技术和应用技术的不断发展及纳米芯片加工工艺技术的发展,以微处理器为核心,集成多功能的 SOC 系统芯片已成为嵌入式系统的核心。在嵌入式系统设计中,要尽可能地选择满足系统功能接口的 SOC 芯片。这些 SOC 集成了大量的外围 USB、UART、以太网和 AD/DA 等功能模块。

可编程片上系统 SOPC(System On Programmable Chip)结合了 SOC 和 PLD、FPGA 各自的技术特点,使得系统具有可编程的功能,是可编程逻辑器件在嵌入式应用中的完美体现,极大地提高了系统在线升级和换代能力。以 SOC/SOPC 为核心,用最少的外围部件和连接部件构成一个应用系统,满足系统的功能需求,这是嵌入式系统发展的一个方向。

嵌入式系统软件一般包含 4 个方面:设备驱动层、实时操作系统 RTOS、中间件层和实际应用程序层,嵌入式软件结构将在第 3 章详细介绍。

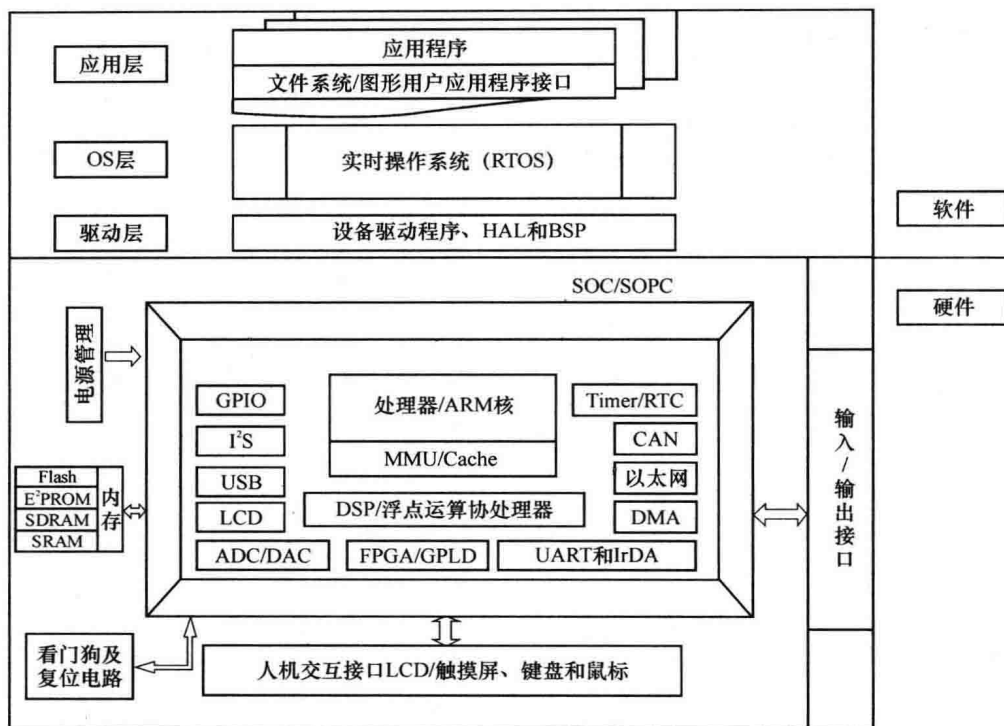


图 1-1 典型的嵌入式系统组成

1.1.4 嵌入式系统的特点

嵌入式系统的特点是相对通用计算机系统(通常指 PC)而言的。与通用计算机相比,嵌入式系统的不同之处在于:

1) 嵌入性

嵌入性指的是嵌入式系统通常需要与某些物理世界中特定的环境和设施紧密结合。这也是嵌入式系统名称的由来。例如,汽车的电子防抱死系统必须与汽车的制动、刹车装置紧密结合;电子门锁必须嵌入到门内,数控机床的电子控制模块通常与机床也是一体的。

2) 专用性

与通用计算机不同,嵌入式系统通常是面向某个特定应用的,所以嵌入式系统的硬件和软件,尤其是软件,都是为特定用户群设计的,它通常都具有某种专用性的特点。例如,方便实用的 MP3、MP4 有许多不同的外观形状,但都是实现某种特定功能的产品。

3) 实时性

目前,嵌入式系统广泛应用于生产过程控制、数据采集和传输通信等场合,主要用来对宿主对象进行控制,所以都对嵌入式系统有或多或少的实时性要求。例如,对嵌入在武器装备中的嵌入式系统、在火箭中的嵌入式系统和一些工业控制装置中的控制系统等应用中的实时性要求就极高。当然,随着嵌入式系统应用的扩展,有些系统对实时性要求也并不是很高,例如近年来发展迅速的手持式计算机和掌上电脑等。但总体来说,实时性是对嵌入式系统的普遍要求,是设计者和用户重点考虑的一个重要指标。

4) 可靠性

可靠性有时候也称为鲁棒性(Robustness)。鲁棒是 Robust 的音译,也就是健壮和强壮的意思。由于有些嵌入式系统所承担的计算任务涉及产品质量、人身设备安全和国家机密等重大事务,加上有些嵌入式系统的宿主对象要工作在无人值守的场合,例如危险性高的工业环境中、内嵌有嵌入式系统的仪器仪表中、在人迹罕至的气象检测系统中、在侦察敌方行动的小型智能装置中等。因此,与普通系统相比较,对嵌入式系统可靠性的要求极高。

5) 可裁减性

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,把嵌入式系统的硬件和操作系统设计成可裁剪的,以便于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。

6) 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,例如移动电话、PDA、MP3、飞机、舰船和数码相机等,这些设备不可能配备容量较大的电源,因此低功耗一直是嵌入式系统追求的目标。例如,手机的待机时间一直是重要性能指标之一,它基本上由内部的嵌入式系统功耗决定。而对有源的电视和 DVD 等设备,低功耗同样也是追求的指标之一。对于功耗的节省也可以从两方面入手:一方面在嵌入式系统硬件设计时,尽量选择功耗比较低的芯片并把不必要的外设和端口去掉;另一方面,嵌入式软件系统在对功能、性能进行优化的同时,也需要对功耗做出必要的优化,尽量节省对外设的使用,从而达到省电的目的。

1.1.5 嵌入式系统的发展趋势

信息时代、数字时代使得嵌入式产品获得了巨大的发展契机,为嵌入式市场展现了美好的前景,同时也对嵌入式生产厂商提出了新的挑战,从中可以看出未来嵌入式系统的几大发展趋势:



1. 由 8 位向 32 位过渡

初期的嵌入式处理器以单片机为主,单片机是集成了 CPU、ROM、RAM 和 I/O 接口的微型计算机。它有很强的接口性能,非常适合于工业控制,因此又称为微控制器(MCU)。它与通用处理器不同,它是从工业测控对象、环境和接口等特点出发,向着增强控制功能,提高工业环境下的可靠性等方向发展。随着微电子和嵌入式技术的蓬勃发展,基于高性能 ARM 微处理器的嵌入式工控机平台,以其体积小、可靠性高和成本低等优点,克服了传统工控机体积庞大、故障率高以及难以较长时间适应于工业控制恶劣环境等缺点,广泛应用于工业控制领域。

在嵌入式家族中,采用 32 位 RISC 架构的 ARM 微处理器迅速占领了大部分市场。随着国内嵌入式应用领域的发展,ARM 芯片必然会获得更广泛的关注和应用。

2. 由单核向多核过渡

CPU 从诞生之日起,主频就在不断的提高,如今主频之路已经走到了拐点。桌面处理器的主频在 2000 年达到了 1 GHz,2001 年达到 2 GHz,2002 年达到了 3 GHz。但在将近 5 年仍然没有看到 4 GHz 处理器的出现。电压和发热量成为最主要的障碍,导致在桌面处理器特别是笔记本电脑方面,Intel 和 AMD 公司无法再通过简单提升时钟频率就可设计出下一代的新 CPU。面对主频之路走到尽头,Intel 和 AMD 公司开始寻找其他方式用以在提升能力的同时保持住或者提升处理器的能效,而最具实际意义的方式是增加 CPU 内处理核心的数量。

多内核是指在一枚处理器中集成两个或多个完整的计算引擎(内核)。多核技术的开发源于工程师们认识到,仅仅提高单核芯片的速度会产生过多热量且无法带来相应的性能改善,先前的处理器产品就是如此。他们认识到,在先前产品中以那种速率,处理器产生的热量很快会超过太阳表面。即便是没有热量问题,其性价比也令人难以接受,速度稍快的处理器价格要高很多。

Intel 工程师们开发了多核芯片,使之满足“横向扩展”(而非“纵向扩充”)方法,从而提高性能。该架构实现了“分治法”战略。通过划分任务,线程应用能够充分利用多个执行内核,并可在特定的时间内执行更多任务。多核处理器是单枚芯片(也称为“硅核”),能够直接插入单一的处理器的插槽中,但操作系统会利用所有相关的资源,将它的每个执行内核作为分立的逻辑处理器。通过在两个执行内核之间划分任务,多核处理器可在特定的时钟周期内执行更多任务。目前单芯片多处理器已经成为处理器体系结构发展的一个重要趋势。

3. MCU、FPGA、ARM 和 DSP 等齐头并进

嵌入式的应用无处不在,因此未来嵌入式芯片必定是 MCU、FPGA、ARM 和 DSP 等齐头并进的局面,各种芯片在不同的领域都有特定的位置,很难出现一种芯片一统天下的局面。