



苏东

飞思科技产品研发中心

编著

监制



主流

ARM

嵌入式系统

设计技术与

实例精解

凝练ARM关键基础技术，融合硬件设计与软件设计思路
精选行业典型应用案例，深入浅出嵌入式系统设计方法



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

http://www.phei.com.cn

苏东 编著
飞思科技产品研发中心 监制

嵌入式
开发专家

主流

ARM

嵌入式系统 设计技术与 实例精解

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书重点介绍了主流 ARM 应用系统的开发与实践。全书基于目前较为通用、流行的 ARM 处理器,介绍了其原理、硬件结构、硬件电路设计与开发和软件开发,加以大量的应用系统实例作为描述案例。全书采用穿插式的介绍方式,前后内容具有很大的关联性。

全书共分为 11 章。第 1 章对嵌入式系统和应用加以概述,并系统地介绍了 ARM 处理器体系结构,使读者对 ARM 处理器有个初步的认识;第 2 章介绍 ARM 处理器最小系统硬件设计及外围电路设计,这是基于 ARM 的嵌入式应用系统硬件设计的关键;第 3 章介绍了常用硬件、软件的开发工具及软件开发环境的搭建等;第 4 章介绍了嵌入式操作系统 Linux/μLinux 的移植;第 5 章介绍了基于 ARM 处理器的底层开发技术;第 6 章描述了主流嵌入式 GUI 的对比与移植;第 7 章到第 11 章则详细地介绍了 5 个具体的设计实例,包含了丰富的接口电路、软件例子代码等,介绍的处理器包含了 ARM7TDMI、ARM9TDMI、ARM926e、PXA27X、OMAP 系列等主流 ARM 处理器,内容涉及多媒体手机开发、IP Camera 开发、个人多媒体中心(PMP)开发、家庭网关开发等。书中实例源代码请到“www.fecit.com.cn”的“下载专区”中下载。

本书适合从事嵌入式系统开发的专业人士阅读,也可作为大专院校电子类专业学生的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

主流 ARM 嵌入式系统设计技术与实例精解 / 苏东编著. 北京: 电子工业出版社, 2007.7

(嵌入式开发专家)

ISBN 978-7-121-04554-7

I. 主… II. 苏… III. 微处理器, ARM—系统设计 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 081010 号

责任编辑: 王树伟

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 31.75 字数: 812.8 千字

印 次: 2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

嵌入式系统在工业生产控制、智能仪表、信息家电、网络通信等领域中都有着广泛的应用。在最近几年，嵌入式系统取得了前所未有的发展，多媒体手机、数字个人助理 PDA、数字导航仪、MP3/MP4、网络路由器等无一不是嵌入式系统的一种，可以相信随着数字多媒体时代的来临，嵌入式系统将会有更加广阔的发展前景。基于嵌入式系统应用的嵌入式处理器也因此取得了飞速的发展，可以说处理器种类繁多，在众多的嵌入式处理器中，尤以 ARM 处理器的市场占有率最大。ARM 处理器经历了近 10 年的发展，从早期的 ARM 7 发展到现在的 ARM 11，已经形成了一系列的产品线。也正是如此，已经有越来越多的开发人员开始从单片机系统开发渐渐地向基于 ARM 处理器的嵌入式系统开发过渡。

一个完整的嵌入式系统同样包含硬件系统和软件系统，有机地结合软、硬件构成了一个专门的、完成特定功能的系统。在基于 ARM 处理器的嵌入式系统设计中，通常把硬件系统再细分为处理器核心部分及外围接口扩展部分。软件部分通常分成 Boot Loader、内核操作系统、文件系统及应用程序等部分。软件和硬件各个部分的完整结合，才能形成一个适合于应用的嵌入式系统，这也就是说，要学习好基于 ARM 处理器的嵌入式系统，除了要对 ARM 处理器有一定的了解外，必须要对系统的上述硬件部分和软件部分都有所了解，必须要有对于嵌入式系统进行整体设计的概念。

随着 ARM 处理器的广泛应用，得到了广大嵌入式操作系统厂家的支持，从而也使得目前针对 ARM 处理器的嵌入式软件操作系统也比较多，主要有 Linux、symbian OS、VxWorks、Palm OS、WinCE 等。目前来说嵌入式 Linux 操作系统在 ARM 处理器上的应用发展可能最为迅速，最为广泛。也许是基于 Linux 系统开放源码、容易裁剪、系统稳定等特点，基于 ARM 处理器的 Linux 系统开发越来越深得广大高校学生及嵌入式系统开发人员的喜爱。

本书的第 1 章对 ARM 处理器及嵌入式操作系统做了系统的描述，旨在让读者对嵌入式系统开发的基础知识有所了解。其后，本书也对基于 ARM 处理器的硬件系统设计——ARM 处理器的核心部分及外围接口的扩展部分都做了比较详细的介绍。同样对基于 ARM 的 Linux 软件开发环境的建立、基于 ARM 处理器的 Linux 操作系统的移植也做了详细的描述。

本书注重结合实例以加深读者对于嵌入式系统开发的印象。从第 3 章到第 6 章讲解了有关硬件系统设计与软件环境的搭建方法。最后 5 章结合作者多年的实际项目开发经验列

举了 5 个详细的系统设计方案。在实例介绍中有作者实际完成的项目，也有一些是参考开发系统做的扩展研究。这些实例都结合了硬件系统设计与软件系统设计两部分，实例中有不少地方可以方便读者结合实际的开发进行一些类似的测试与实验。本书同时适合于从事基于 ARM 处理器进行嵌入式系统开发的硬件工程师和软件工程师，但是这些实例的讲解旨在让从事嵌入式系统设计的开发人员不要把目标单独停留在硬件系统设计或者软件系统设计上，而要有一个系统整体设计的概念。

对于嵌入式系统的学习，最为关键的就是要多动手，多做实验，多看参考资料，在摸索中求进步。对于嵌入式系统的设计则是要讲究其应用，因为只有合适的应用才真正决定了一个嵌入式系统的生存周期。同样，在系统设计的时候也要考虑到系统的可扩展性、可裁减性等问题。以及嵌入式系统设计的模块化等问题。很多的经验也只有从事了一定的系统设计之后才能真正地体会到。

本书力争做到内容紧凑、表达简捷，同时也注重开发实例的实用性，希望本书的介绍对大家的开发有所帮助。本书中也引用了参考书目中的一些信息，在此对参考书目中该书的作者表示感谢！

由于时间仓促，加之水平有限，书中难免会有一些错误和不妥之处，敬请读者批评指正。作者的联系方式：sudongsino@126.com，欢迎读者交流讨论。

编 著 者

联系方式

咨询电话：(010) 68134545 88254160

电子邮件：support@fecit.com.cn

服务网址：<http://www.fecit.com.cn> <http://www.fecit.net>

通用网址：计算机图书、飞思、飞思教育、飞思科技、FECIT

第 1 章 嵌入式系统与 ARM 处理器..... 1	
1.1 嵌入式系统特性..... 1	
1.1.1 功能特定性..... 1	
1.1.2 规模可变性..... 2	
1.1.3 实时性与稳定性..... 2	
1.1.4 系统的其他特性..... 3	
1.2 嵌入式系统的分类与应用..... 4	
1.2.1 按照系统组成分类..... 4	
1.2.2 按照系统应用分类..... 5	
1.2.3 按照系统实时性分类..... 7	
1.3 ARM 处理器体系结构..... 7	
1.3.1 ARM 处理器概述..... 8	
1.3.2 ARM 内核种类分类..... 9	
1.4 ARM 处理器工作模式..... 12	
1.4.1 ARM 和 Thumb 状态..... 12	
1.4.2 ARM 处理器模式..... 13	
1.4.3 ARM 寄存器介绍..... 13	
1.4.4 ARM 体系结构的 异常中断..... 17	
1.4.5 ARM 体系结构中的 存储系统..... 18	
1.5 嵌入式操作系统概述..... 20	
1.5.1 VxWorks..... 21	
1.5.2 QNX..... 22	
1.5.3 Palm OS..... 22	
1.5.4 Windows CE..... 22	
1.5.5 uClinux..... 23	
1.5.6 Linux..... 23	
1.5.7 uC/OS-II..... 24	
1.5.8 Nuclues..... 24	
1.6 本章小结..... 25	
第 2 章 基于 ARM 处理器的硬件 系统设计与调试技术..... 27	
2.1 常用内存技术介绍..... 27	
2.1.1 Flash (快闪存储器)..... 27	
2.1.2 SRAM (静态随机 存取存储器)..... 29	
2.1.3 SDRAM (同步动态 RAM)..... 30	
2.1.4 DDR SDRAM (双倍 数据速率内存)..... 30	
2.1.5 MCP 技术..... 31	
2.2 Boot 介绍..... 32	
2.2.1 大/小端..... 32	
2.2.2 外围内存扩展接口..... 32	
2.2.3 启动选择..... 39	

2.2.4	内存地址重映射	39	3.1.1	Banyan-UE 仿真器	82
2.3	硬件系统及外围接口		3.1.2	Multi-ICE 仿真器	82
	电路设计	40	3.1.3	Banyan-UE 的 安装与使用	83
2.3.1	电源电路设计	41	3.2	ARM 集成开发环境	88
2.3.2	Reset 电路设计	46	3.2.1	ARM RealView	88
2.3.3	时钟电路设计	48	3.2.2	ARM SDT2.5	88
2.3.4	地址/数据总线接口	49	3.2.3	ARM ADS1.2	88
2.3.5	JTAG 电路设计	51	3.3	ADS 的基本使用	89
2.3.6	RS-232 串行 接口电路	52	3.3.1	CodeWarrior For ADS IDE	89
2.3.7	以太网接口设计	54	3.3.2	AXD 调试器的 使用介绍	92
2.3.8	USB 接口电路设计	56	3.3.3	ADS 命令行命令 介绍	96
2.3.9	I ² C 接口电路设计	59	3.3.4	ADS 下可执行文件 组成及内存映射	98
2.3.10	SPI 接口电路设计	59	3.3.5	ADS 下的程序 装载过程	99
2.3.11	GPIO (通用 I/O 接口) 电路设计	60	3.4	开发编译环境	100
2.3.12	LCD 接口电路设计	62	3.4.1	VMware WorkStation 虚拟机介绍	101
2.3.13	TouchPanel 接口	65	3.4.2	Linux 编译开发 环境的建立	108
2.3.14	MMC/SD 卡接口	67	3.4.3	交叉编译器 arm-elf-gcc	118
2.3.15	PCI 接口设计	68	3.4.4	汇编器 arm-elf-as	124
2.3.16	其他外围接口	70	3.4.5	链接器 arm-elf-ld	126
2.4	硬件设计中需要注意的 几个问题	71	3.4.6	库管理器 arm-elf-ar	128
2.4.1	IC 元件的选择	71	3.4.7	Linkcmds 链接 命令文件	129
2.4.2	元件封装设计	71	3.4.8	makefile 介绍	135
2.4.3	PCB 设计精度	72	3.4.9	编写一个 makefile	137
2.4.4	分离元件的正确使用	72	3.5	软件维护与建立的工具	142
2.4.5	高速 PCB 设计方法	73	3.5.1	Autoconf/Automake	142
2.4.6	PCB 设计的一般原则	74	3.5.2	./configure 配置脚本	144
2.4.7	高速 PCB 设计中的 仿真技术	75	3.5.3	autogen.sh 的介绍	148
2.5	硬件调试方法	78	3.6	代码管理 CVS	148
2.5.1	硬件板级调试	79	3.6.1	CVS 简介	149
2.5.2	小系统调试	79			
2.5.3	系统整体调试	80			
2.6	本章小结	80			
第 3 章	开发工具与开发环境	81			
3.1	常用 ARM 开发工具	81			

3.6.2	CVS 的使用方法	152
3.6.3	RedHat 下 CVS 的配置.....	153
3.6.4	WinCVS 介绍.....	155
3.7	本章小结.....	158
第 4 章	嵌入式 Linux 系统的移植.....	159
4.1	关于 Boot Loader 的介绍.....	159
4.1.1	rrload 介绍.....	159
4.1.2	U-Boot 介绍	162
4.1.3	Blob 介绍	166
4.1.4	Vivi 介绍	167
4.1.5	Boot Loader 的 工作流程.....	169
4.1.6	Boot Loader 的移植.....	173
4.1.7	LDS 文件的 简单说明.....	182
4.2	内核的移植.....	183
4.2.1	Linux 内核介绍.....	183
4.2.2	基于 OMAP5910 的 Linux-2.4.21 的移植....	187
4.2.3	基于 S3C2410 的 Linux-2.6.14 移植.....	194
4.2.4	基于 S3C44B0x 的 uClinux-2.6.14 移植	200
4.3	文件系统介绍.....	206
4.3.1	文件系统的生成.....	207
4.3.2	jffs 文件系统.....	210
4.3.3	jffs2 文件系统.....	213
4.3.4	ext2 文件系统	218
4.3.5	cramfs 文件系统	219
4.3.6	FAT 文件系统	220
4.3.7	NFS 文件系统.....	221
4.3.8	yaffs 文件系统	222
4.3.9	ReiserFS 文件系统.....	229
4.3.10	devfs 文件系统.....	232
4.4	本章小结.....	233

第 5 章	基于 ARM 处理器的 底层驱动开发	235
5.1	有关 ARM 的汇编语言编程..	235
5.1.1	ARM 汇编伪 指令介绍.....	236
5.1.2	模块化程序设计	237
5.1.3	混合语言编程	238
5.2	裸机底层驱动设计方法.....	242
5.2.1	复位向量表	243
5.2.2	中断服务程序	245
5.2.3	程序调试方式	254
5.3	基于 Linux 操作系统的 底层驱动技术.....	255
5.3.1	设备驱动概述	255
5.3.2	设备类型分类	256
5.3.3	设备驱动中关键 数据结构.....	257
5.3.4	设备驱动程序 模板与实现.....	260
5.3.5	设备驱动程序 的使用.....	270
5.4	本章小结.....	273
第 6 章	Linux 下的 GUI 开发技术.....	275
6.1	Linux 下的主流 GUI 介绍	275
6.1.1	MiniGUI 介绍	276
6.1.2	Qt 介绍	278
6.1.3	MicroWindows 介绍	279
6.1.4	OpenGUI 介绍.....	280
6.1.5	主流 GUI 对比	280
6.2	GUI 的移植与中文化.....	281
6.2.1	MicroWindows 的 移植.....	281
6.2.2	MiniGUI 的移植	283
6.2.3	Qt/Embedded 的 移植.....	290
6.3	本章小结.....	293

第7章 基于 Samsung S3C4510B 的系统设计实例	295
7.1 系统概述.....	295
7.2 硬件接口电路设计.....	296
7.2.1 有关 S3C4510B 处理器.....	296
7.2.2 系统管理器.....	297
7.2.3 HDLC 通道的使用.....	299
7.2.4 Flash 存储器接口.....	301
7.2.5 SDRAM 存储器接口... ..	302
7.2.6 异步串行通信口.....	302
7.2.7 复位电路与晶振电路.....	303
7.2.8 以太网接口.....	304
7.2.9 JTAG 接口.....	305
7.2.10 电源电路.....	305
7.2.11 扩展 LCD 接口.....	305
7.3 硬件编程举例.....	306
7.3.1 GPIO 编程参考.....	307
7.3.2 UART 编程参考.....	307
7.3.3 I ² C 接口编程参考.....	310
7.4 uClinux 编程参考.....	314
7.4.1 裸机 Flash 烧写方法... ..	314
7.4.2 内核的移植.....	316
7.4.3 在 uClinux 下添加应用程序的方法.....	319
7.4.4 uClinux 下的串口编程和 Socket 编程.....	324
7.4.5 基于 uClinux 的 Web 服务器应用程序设计.....	329
7.5 本章小结.....	332
第8章 基于 Intel PXA271 的 CDMA 通信终端开发实例	333
8.1 系统概述.....	333
8.1.1 PXA27x 处理器介绍... ..	333
8.1.2 PXA271 处理器特点... ..	335
8.2 系统硬件接口设计.....	336

8.2.1 电源电路设计.....	336
8.2.2 LCD 接口设计.....	340
8.2.3 AC97 Audio CODEC 接口设计.....	341
8.2.4 键盘接口设计.....	344
8.2.5 与 CDMA 模块的接口设计.....	346
8.2.6 MMC/SD 卡接口设计.....	348
8.2.7 SSP 接口介绍.....	350
8.2.8 其他外围接口介绍.....	350
8.3 系统软件开发.....	351
8.3.1 软件开发平台搭建.....	351
8.3.2 有关 MMX 指令.....	354
8.3.3 SSP 接口编程技术.....	354
8.4 本章小结.....	360
第9章 基于 Samsung 2510A 的 IP 网络 MPEG2/MPEG4 编解码器开发实例	361
9.1 系统概述.....	363
9.2 硬件接口设计.....	364
9.2.1 与编解码器的接口设计.....	364
9.2.2 编码 (Encoder) 部分接口.....	364
9.2.3 解码 (Decoder) 部分接口.....	367
9.2.4 VW2010 小系统设计.....	370
9.3 软件设计.....	373
9.3.1 软件移植介绍.....	373
9.3.2 内核驱动介绍.....	374
9.3.3 上层应用程序.....	382
9.4 本章小结.....	386
第10章 基于 Samsung S3C2410 的 PDA 开发实例	387
10.1 系统概述.....	387
10.2 系统硬件接口设计.....	388

10.2.1	CPU 核心部分 接口电路	389
10.2.2	Memory 接口部分	392
10.2.3	Audio 接口	394
10.2.4	USB 接口设计	396
10.2.5	MMC/SD 卡 接口设计	397
10.2.6	触摸屏接口设计	398
10.2.7	LCD 接口	399
10.3	系统软件设计	401
10.3.1	触摸屏驱动设计	401
10.3.2	IIS 驱动	404
10.4	本章小结	410
第 11 章 基于 TI OMAP591x 处理器的 加密通信终端开发实例		
11.1	系统概述	411
11.2	硬件平台设计	413
11.2.1	OMAP5910 处理器 架构介绍	413
11.2.2	晶振电路设计部分	417
11.2.3	存储系统部分	420
11.2.4	电源电路设计部分	426
11.2.5	调试接口部分 ETM 和 JTAG	429
11.2.6	系统低功耗 设计举措	431
11.2.7	与 GSM 模块的 接口设计	440
11.2.8	语音输入输出 接口设计	443

11.2.9	和弦芯片接口电路	446
11.2.10	LCD 接口	450
11.2.11	有关摄像头接口	465
11.3	软件设计介绍	467
11.3.1	CCS 基本设置方法	467
11.3.2	关于 GEL 文件	469
11.3.3	在 CCS 下烧写 Boot Loader 的方法	474
11.3.4	McBSP 接口 程序设计	474
11.3.5	CODEC 接口程序	476
11.3.6	I2C 接口应用程序	480
11.4	多处理器平台设计技术	483
11.4.1	处理器 Mailbox 技术	484
11.4.2	DSP Gateway 架构	484
11.4.3	DSP Gateway 下的 Mailbox 机制	486
11.4.4	ARM Linux 下访问 DSP Gateway 设备	487
11.4.5	DSP 端的编程	488
11.4.6	DSP task 程序的 执行	493
11.4.7	DSP Gateway 的 应用	493
11.5	本章小结	494
参考文献		495

第1章 嵌入式系统与 ARM 处理器

随随着社会信息化的发展,计算机和网络已经渗透到人们日常生活的每个部分,无线通信技术也成为人们生活中必不可少的一部分。我们每一个人基本上都拥有大小不一,形状各异,具有各种功能的,使用嵌入式技术的电子产品,比如 MP3/MP4, PDA, GPS 导航仪等小型数字化产品,还有智能家电,网络家电等。包括现在非常热门的所谓智能手机等产品其实都可以归类于嵌入式产品中。

原本电气工程师协会 (IEEE) 对于嵌入式系统的定义是:“嵌入式系统是用来控制或监视机器,装置或工厂等大规模系统的设备”。而随着嵌入式技术的发展,嵌入式系统的定义已经远远超出了这个范畴,小到一块带有脉搏,血压检测的智能运动型手表,大到外星探测器上使用的智能探测器都是由嵌入式系统构成的。

嵌入式系统是软件和硬件的综合体,也是一种以应用为中心,以计算机技术为基础,软件、硬件都具有可裁剪性的专用“计算机”系统。

1.1 嵌入式系统特性

嵌入式系统的应用越来越广泛。这是因为嵌入式系统具有功能特定、规模可变、扩展灵活、有一定的实时性和稳定性、系统内核比较小等特点。

1.1.1 功能特定性

应该说基本上所有的嵌入式系统都具有一些特定的功能。如一个 IP 转串口的小型嵌入式设备,其主要功能就是把 IP (TCP/UDP) 数据转成 RS232 数据,或者把 RS232 数据转成 TCP/UDP 数据。也正是基于这样特定和单一的功能,才能把这类嵌入式设备做得体积小并且价格低廉。应用于专业领域的嵌入式系统通常都具有执行特定功能的特性。在本书后 4 章介绍的几个实例同样都具有这个特点。比如说第 9 章介绍的基于 S3C2510 处理器的 IP 编解码器,其主要功能就是完成模拟视、音频数据与网络 TS/PS 流媒体数据流之间的转换的。

嵌入式系统的这个特性要求设计者在实际设计嵌入式系统的时候一定要做详尽的需求分析,把系统的功能定义清晰,真正地客户的需求是做好设计的前提。另外一点,如果在系统中增加一些不必要的功能不仅是开发时间上与经费上的浪费,也带来了系统整体性价比的降低,同样也会带来系统成本的增加。

1.1.2 规模可变性

这里的规模可变主要指嵌入式系统主要是以微处理器与周边器件构成核心的,其规模可以变化。嵌入式处理器可以从8位到16位,到32位甚至到64位的都有。也正是基于这个特点,推荐嵌入式系统开发工程师在实际的开发过程中先设计与调试系统中基本不会变的那个部分——通常都是指嵌入式处理器核心电路部分,也就是本书中提到的小系统部分,然后再根据实际的应用扩展其外围接口。当然,这里的规模可变也和具体应用有很大的关系。比如说在第9章介绍的IP编解码器设计中,实例中并没有扩展USB接口,主要原因就是在实例的实际应用中并没有对USB扩展的需求。如果客户的需求中要求可以通过USB接口的文件传输来修改IP编解码器配置参数的话,那么根据这个需求设计出来的系统就应该扩展USB接口。由于嵌入式处理器内部集成的外围接口丰富,所以也使得一般的嵌入式系统都具有很强的规模可伸缩性。

嵌入式系统的这个特点给开发人员在系统设计过程中带来了很大的灵活性。在需要变化的时候,使系统的设计可以快速地进行扩展来适应需求。比如系统内存的增加、系统外围接口的扩展等,都是很容易实现的,但前提是在系统设计的时候已经考虑到了这部分的扩展冗余。也就是说设计师在设计系统的时候,要适当地考虑一下系统以后的扩展性。最方便的就是通过一些跳线或者串联 0Ω 电阻等方法做一些简单扩展等。

1.1.3 实时性与稳定性

嵌入式系统因其应用情况通常会对时序和稳定性有一定的要求,也正是这样就出现了实时嵌入式系统等更深层次的系统。常见的实时嵌入式系统有RT Linux、Nucleus、VxWorks等。大家所熟知的火星探测器上使用的操作系统其实就是一个实时性很高的嵌入式系统,上面使用的操作系统就是美国风河系统公司(Wind River System)的VxWorks操作系统。现在发展越来越快的GPS车辆实时监控系统中同样也对时序和稳定性有一定的需求。车辆移动端的控制器要根据GPS的秒信号与整个系统做时钟同步,从而实现移动端数据的分时按时间片向数据中心上报。在工控领域中应用的嵌入式系统对时序和稳定性的要求更高,一般这样的设备通常是系统不间断地运行,需要面对较为恶劣的温度和湿度环境。

1.1.4 系统的其他特性

嵌入式系统除了具有以上几个特性外,还具有系统内核小、专用性强、系统小而精、使用多任务操作系统、有专门的开发配套工具等特点。

1) 系统内核小

因为嵌入式系统一般都是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。嵌入式操作系统内核比较小的有 uC/OS-II 和 Nucleus 等,相对较大就是 Microsoft 的 Windows Mobile 操作系统,其内核也只有几十兆,比 PC 机上运行的其他操作系统规模小得多。

2) 专用性强

嵌入式系统的个性化很强,软件和硬件的结合紧密,一般都针对硬件进行系统的移植,同时针对不同的任务,系统软件也需要更改一定程序,程序的编译下载要和系统相结合。

3) 系统精简

早期的嵌入式系统,系统软件和应用软件没有明显的区分,不要求其功能的设计过于复杂。不过这也带来了开发上的不方便,也就是说如果不把系统软件 and 上层应用软件区分开的话,每一次修改软件,都要把系统软件 and 上层软件一起编译调试,会带来开发时间上的浪费。

4) 高实时性

高实时性的操作系统软件是嵌入式软件的基本要求,软件一般都要求固化和存储的。通常嵌入式系统中的软件都是存储在 Flash 中的。上电之后,才把这些软件中的部分调入 RAM 区运行。

5) 使用多任务的操作系统

嵌入式软件逐渐走向标准化,所以一般都使用多任务的操作系统。嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统在芯片上直接运行,但是为了合理地调度多个任务,充分利用系统资源、系统函数等,推荐选用 RTOS 开发平台。

6) 具有专门的开发工具和开发环境

由于嵌入式系统本身不具备自主开发能力,必须有一套开发工具和环境才能进行开发,这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软、硬件设备,以及各种仪器仪表等。开发时一般分为主机(HOST)和目标机(TARGET)两个概念,主机用于程序开发,目标机作为最后的执行机。通常都是在主机上建立基于目标机的编译环境,编译目标机要运行的代码,然后把编译出来的可执行二进制代码通过主机和目标机之间的某种通信接口与协议传输到目标机上进行烧录和运行。

1.2 嵌入式系统的分类与应用

嵌入式系统种类繁多，分布在生活中的各个方面。如手机、DVD 播放器、ADSL 上网终端、无线路由器和 DVB 机顶盒等都是嵌入式系统。下面从系统组成、系统应用和系统的实时性等几个方面对嵌入式系统进行一下简单的分类。

1.2.1 按照系统组成分类

首先按照嵌入式系统组成来分类。众所周知的作为一个“专用计算机系统”的嵌入式系统同样也是由软件系统和硬件系统两大部分来组成的。所以，就可以将其分成嵌入式系统硬件和嵌入式系统软件两大部分。

1. 嵌入式系统硬件部分

嵌入式系统硬件部分的核心部件就是嵌入式处理器。本书中主要介绍的 ARM 处理器就是一个典型的嵌入式处理器。现在全世界嵌入式处理器的品种已经超过 1000 多种，流行的体系结构多达 30 多个，嵌入式处理器的寻址空间也从 64KB 到 2GB 不等，其处理速度可以从 0.1MIPS~2 000MIPS 等。一般来说可以把嵌入式处理器分成以下 4 类：

- MPU (Micro Processor Unit) 嵌入式微处理器；
- MCU (Micro Controller Unit) 嵌入式微控制器；
- 嵌入式 DSP 处理器 (Digital Signal Processor)；
- 嵌入式片上系统 (SOC)。

嵌入式系统硬件部分除了嵌入式处理器核心部分外，还包括丰富的外围接口。也正是基于这些丰富的外围接口，才带来嵌入式系统越来越丰富的应用。现在的 ARM 处理器内部的接口相当丰富，像 I²C、SPI、UART 和 USB 等接口基本上都是“标准”配置。在设计系统的时候，通常只要把处理器和外设进行物理连接就可以实现外围接口扩展了。

嵌入式系统硬件部分随着嵌入式处理器高度集成化技术的发展、带动，使得可以实现的接口越来越多，功能也越来越强，但是扩展外围接口时所需要的外围接口电路却变得越来越少了。比如说有的 ARM 处理器封装里面就已经集成了 Flash 或 SRAM，有的 ARM 处理器内部集成了 DSP，有的 ARM 处理器内部集成了 LCD 控制器等。

2. 嵌入式系统软件部分

嵌入式系统软件部分一般来说是由嵌入式操作系统和应用软件两部分组成的。在本书中的嵌入式系统软件可以分成启动代码 (Boot Loader)、操作系统内核与驱动 (Kernel & Driver)、文件系统与应用程序 (File System & Application) 等几部分。Boot Loader 是嵌入式系统的启动代码，主要用来初始化处理器、传递内核启动参数给嵌入式操作系统内核，

使得内核可以按照我们的参数要求启动。另外 Boot Loader 通常都具有搬运内核代码到 RAM 并跳转到内核代码地址运行的功能。操作系统内核则主要有 4 个任务：进程管理、进程间通信与同步、内存管理及 I/O 资源管理。驱动程序也应该算是内核中的一个部分，主要提供给上层应用程序，通过处理器外设接口控制器和外部设备进行通信的一个媒介。文件系统则可以让嵌入式软件工程师灵活方便地管理系统。应用程序才是真正针对需求的，才有可能成为嵌入式软件工程师完全自主开发的。

总的来说嵌入式系统的硬件部分可以说是个系统的基石，嵌入式软件部分则是在这个基石上面建立起来的不同功能的大楼，对于任何一个需求明确的嵌入式系统来说，两者缺一不可。在对系统做了相对完整而细致的需求分析之后，通常采用软件和硬件基本同步进行的方式来开发，前期硬件系统的设计要比软件系统设计稍微提前，到了后期软件系统的开发工作量会比硬件系统的开发工作量大一些。

1.2.2 按照系统应用分类

嵌入式系统的应用广泛，它主要应用于以下几个方面。

1. 消费类电子产品应用

嵌入式系统在消费类电子产品应用领域的发展最为迅速，而且在这个领域中的嵌入式处理器的需求量也最大。由此可以清楚地理解“为什么从 2006 年开始以来中国台湾联发科公司的 MTK 多媒体应用处理器的全球出货量如此巨大？”了，其 2007 年手机应用芯片的出货量将挑战 1 亿片。由嵌入式系统构成的消费类电子产品已经成为现实生活中必不可少的一部分。比如各式各样的信息家电产品，如智能冰箱、流媒体电视等。大家最熟悉的莫过于手机、PDA、电子辞典、数码相机、MP3/MP4 等。可以说离开了这些产品生活会失去很多的色彩。也许不久的将来，如果没有了这些消费类电子产品，生活就像以前没有电一样很不方便。即将上市的苹果公司 i-Phone 手机中的嵌入式 ARM 处理器的数量，估计会达到 4 个以上。

这些消费类电子产品中的嵌入式系统一样含有一个嵌入式应用处理器、一些外围接口及一套基于应用的软件系统等。就拿数码相机来说，其镜头后面就是一个 CCD 图像传感器，然后会有一个 A/D 器件把模拟图像数据变成数字信号，送到嵌入式应用处理器进行适当的处理，再通过应用处理器的管理实现图像在 LCD 上的显示、在 SD 卡或 MMC 卡上的存储等功能。

2. 智能仪器、仪表类应用

这类产品可能离日常生活有点距离，但是对于开发人员来说却是实验室里的必备工具，比如网络分析仪、数字示波器、热成像仪等。通常这些嵌入式设备中都有一个应用处理器和一个运算处理器，可以完成一定的数据采集、分析、存储、打印、显示等功能。可以说

这些设备对于开发人员的帮助很大，大大地提高了开发人员的开发效率，可以说是开发人员的“助手”。

3. 通信信息类产品应用

这些产品多数应用于通信机柜设备中，如路由器、交换机、家庭媒体网关等。在民用市场使用较多的莫过于路由器和交换机了。通常在一个典型的 VOIP 系统中，嵌入式系统会扮演不同的角色，有网关 (gateway)、关守 (gatekeeper)、计费系统、路由器、VOIP 终端等。基于网络应用的嵌入式系统也非常多，可能目前市场发展最快的就是远程监控系统等监控领域中应用的系统了。

本书第 8 章介绍的基于 PXA271 的 CDMA 通信终端，以及第 11 章介绍的基于 OMAP591X 处理器的加密通信终端就属于这一类应用。

4. 过程控制类应用

过程控制类应用主要指在工业控制领域中的应用。对生产过程中各种动作流程的控制，如流水线检测、金属加工控制、汽车电子等。汽车工业已开始在中国取得了飞速的发展，汽车电子也在这个大发展的前提下迅速成长。汽车发动机控制器 ECU 是汽车中最为复杂且功能最为强大的嵌入式系统，它包含电源、嵌入式处理器、通信链路、离散输入、频率输入、模拟输入、开关输出、PWM 输出和频率输出等各大模块。正在飞速发展的车载多媒体系统、车载 GPS 导航系统等也都是典型的嵌入式系统应用。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、自平衡系统的控制、电机控制等。

5. 国防武器装备应用

如雷达识别、军用数传电台、电子对抗设备等。在国防军用领域使用嵌入式系统最成功的案例莫过于美军在海湾战争中采用的一套 Adhoc 自组网作战系统了。利用嵌入式系统设计开发了 Adhoc 设备安装在直升机、坦克、移动步兵身上构成一个自愈自维护的作战梯队。这项技术现在发展成为 Mesh 技术，同样依托于嵌入式系统的发展，已经广泛应用于民用领域，比如消防救火、应急指挥等应用中。

6. 生物微电子应用

指纹识别、生物传感器数据采集等应用中也广泛采用嵌入式系统设计。现在环境监测已经成为人类突出要面对的问题，可以想像随着技术的发展，将来的空气中、河流中都可能存在着很多的微生物传感器在实时地检测环境状况。而且还在实时地把这些数据送到环境监测中心，以达到检测整个生活环境避免发生更深层次的环境污染问题。这也许就是将来围绕在我们生存环境周围的一个无线环境监测传感器网。对于已经过去的 SARS 等重大流行性疾病，人类可以在嵌入式系统的协助下与之对抗。

嵌入式系统的这些广泛应用给嵌入式系统开发人员带来了众多机遇和挑战。其中平台核心部分的技术成熟与稳定相当重要，硬件平台的核心部分稳定可靠，其在应用上的不同无非就是外围扩展的不同。

1.2.3 按照系统实时性分类

嵌入式系统可以根据其对于实时性要求的不同，分为软实时和硬实时两种类型。

1. 硬实时系统

硬实时系统是指系统要确保在最坏情况下的服务时间，即对于事件响应时间的截止期限必须得到满足。比如航天中宇宙飞船的控制等就是这样的系统。其他的所有实时特性的系统都可以称为软实时系统。

2. 软实时系统

明确地说，软实时系统就是那些从统计的角度来说，一个任务能够得到确保的处理时间，到达系统的事件也能够在截止期限前得到处理。但违反截止期限并不会带来致命的错误，像实时多媒体系统就是一种软实时系统（本书第9章的系统就是这样的一个系统）。本书例子中的系统都是软实时系统。基于 ARM 处理器的 Linux 操作系统是一个典型的软实时系统，尽管在 RT Linux 里面对系统的调度机制做了很大的提高，使得实时性能也提高了很多，但是 RT Linux 还是一个软实时系统。

前面介绍了嵌入式系统的一些特点及应用，接下来会通过本书 1.3 和 1.4 介绍一下嵌入式系统中的硬件核心部分——嵌入式处理器。通过本书 1.5 简单地介绍一下嵌入式系统中的“上层建筑”部分——嵌入式操作部分。

1.3 ARM 处理器体系结构

嵌入式处理器种类繁多，从 8 位、16 位、32 位到 64 位都有。本章介绍的嵌入式应用处理器主要有 ARM、MIPS、PowerPC、X86、68K/Cold fire 等，下面对这些处理器进行一些简单介绍。

MIPS 是 Microprocessor without Inter-locked Pipeline Stages 的缩写，是由 MIPS 技术公司开发的一种处理器内核标准。目前有 32 位和 64 位 MIPS 芯片，芯片也是由 MIPS 技术公司生产的。

PowerPC 是早期 Motorola 公司和 IBM 公司联合为 Apple 公司的 MAC 机开发的 CPU 芯片，商标权同时属于 IBM 和 Motorola 两家公司，并一度成为他们的主导产品。IBM 公司主要的 PowerPC 产品有 PowerPC 604s（深蓝内部的 CPU）、PowerPC 750、PowerPC G3