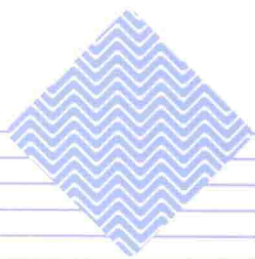
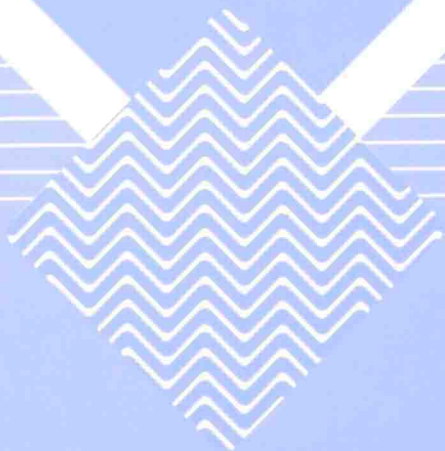


高等学校教材



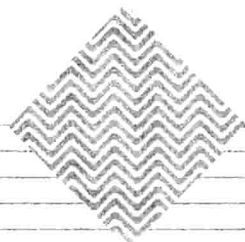
嵌入式系统 原理及应用

蒋建春 曾素华 编著



高等教育出版社

高等学校教材



嵌入式系统 原理及应用

Qianrushì Xìtǒng Yuánlǐ Jì Yìngyòng

蒋建春 曾素华 编著



内容简介

本书是一本针对嵌入式系统的应用需求、结合嵌入式系统理论知识进行编写的教材,得到工信部“十二五”规划教材立项支持。本书在内容的选择上,遵循理论与具体对象结合的原则,采用嵌入式控制领域应用广泛的 ARM 处理器 Cortex - M3 和典型的接口及总线作为硬件对象,分析讲解 Cortex - M3 处理器的结构、工作模式、中断处理、系统启动等原理及过程;针对控制领域对操作系统的应用需求,选择编程简单但功能齐全的 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 操作系统作为主要内容;然后系统讲解了嵌入式系统理论知识及硬件设计、底层驱动编程、系统启动与中断处理、操作系统概念及应用等知识。

本书以“总体到具体”、“底层到上层”的顺序进行讲解,符合人的思维习惯。让读者能将理论知识和具体对象结合起来,真正系统理解和掌握嵌入式系统软硬件知识。

本书可作为高等院校理工科本科高年级学生的教材,也可作为嵌入式系统设计工程师的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理及应用/蒋建春,曾素华编著. --
北京:高等教育出版社,2014.6
ISBN 978 - 7 - 04 - 039536 - 5

I. ①嵌… II. ①蒋… ②曾… 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(2014)第 06787 号



策划编辑 杨 希 责任编辑 杨 希 封面设计 李卫青 版式设计 范晓红
插图绘制 杜晓丹 责任校对 殷 然 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	高教社(天津)印务有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	22.75	版 次	2014 年 6 月第 1 版
字 数	540 千字	印 次	2014 年 6 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	35.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 39536 - 00

前 言

随着计算机技术和微电子技术的发展,嵌入式系统也得到了广泛的应用。电子设备的功能要求越来越复杂和完善,处理器已经经历了4位、8位、16位、32位、64位、多核等发展,性能得到了大大的提升,原来单片机的应用领域被嵌入式系统逐渐取代。嵌入式系统在工业生产控制、智能仪表、信息家电、网络通信、医疗仪器、国防科技等领域中都有着广泛的应用。特别是在最近几年,嵌入式系统取得了前所未有的发展,在数码相机、智能手机、数字智能电视、数字导航仪、MP3/MP4、网络路由器、汽车电子等方面,嵌入式系统无处不在。

针对嵌入式系统的应用,社会对嵌入式系统设计方面的人才需求量也越来越大。许多高校开设了嵌入式系统设计课程,社会上也有许多嵌入式系统培训班,以满足对嵌入式系统设计任务的需求。但是关于嵌入式系统设计的参考书大多只针对某一型号的处理器或操作系统进行详细讲解,没有提供相应的嵌入式系统基础知识,就像产品说明书,读者只知道怎么用,而不知道为什么,对于高校学生或嵌入式初学者来说,在面对新的处理器或操作系统时无从下手;或者是只针对嵌入式理论知识进行说明、分析,而没有一个具体的对象,让读者感觉像空中楼阁。因此,这些参考书对于嵌入式系统初学者来说,很难真正系统掌握嵌入式系统知识,在做嵌入式系统设计时,难以设计出一款优秀的嵌入式系统产品,从而也限制了行业的发展。

针对这一情况,作者根据多年从事嵌入式系统教学及科研经验,结合嵌入式系统理论知识,编写了这本教材。本书主要针对非计算机专业学生进行设计,在内容的选择上,遵循理论与具体对象结合的原则,采用嵌入式控制领域应用广泛的ARM处理器Cortex-M3和典型的接口及总线作为硬件对象,分析讲解ARM Cortex处理器的结构、工作模式、中断处理、系统启动等原理及过程;针对控制领域对操作系统的应用需求,选择编程简单但功能齐全的 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统作为主要内容,系统讲解了嵌入式系统理论知识及硬件设计、底层驱动编程、系统启动与中断处理、操作系统概念及应用等知识;让读者能将理论知识和具体对象结合起来,真正系统理解和掌握嵌入式系统软硬件知识。本书以“总体到具体”、“底层到上层”顺序进行内容安排,符合人的思维习惯。因此,本书可作为高等院校本科高年级学生的教材,也可作为嵌入式系统设计工程师的重要参考书。

本书共8章,第1章主要介绍嵌入式系统的概念、应用与发展。第2章主要介绍嵌入式系统构架、组成、软硬件基础知识以及嵌入式系统设计方法等内容。第3章主要讲解嵌入式系统开发基础,主要分析了嵌入式系统基本组成,常见的微处理器和操作系统的特点及应用领域,嵌入式软件开发调试方法,以及嵌入式系统平台构建的注意事项等。第4章重点讲述了ARM Cortex系列处理器的结构、工作模式、指令、开发环境等内容,然后对LPC1768处理器开发板进行了介绍。第5章重点分析了LPC1768处理器的引脚与接口配置,然后对LPC1768处理器常用接口及外设的工作原理、接口电路及驱动程序编写进行讲解,如串口、

A/D 转换、触摸屏、LCD、键盘等外设的工作原理及驱动程序编写。第 6 章对嵌入式操作系统的概念、内核结构和功能进行了讲解,重点讲解了嵌入式操作系统任务、调度、通信与同步的工作原理。第 7 章对 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 实时操作系统的内核构架进行了分析,重点分析了该操作系统的内核任务管理、通信与同步的机制和 API 函数。第 8 章对 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 操作系统的应用举例,主要对通信、同步、互斥、事件标志组等应用进行了实例设计分析,然后讲述了在 LPC1768 上如何移植 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 实时操作系统。

本书第 1、2、3 章由曾素华负责完成,第 4、5、6、7、8 章由蒋建春负责完成,全书由蒋建春负责统稿。参与编写的人员还有岑明、李勇、吕霞付、谢昊飞等老师,在这里对他们表示感谢。同时还感谢何兵、孟凡迪、景艳梅、陈慧玲等同学为本书的付出。本书由西安电子科技大学任爱锋教授审稿,任教授对本书提出了许多宝贵意见和建议,作者在此一并表示衷心的感谢。

当然,任何一本书不可能囊括所有内容,本书力争做到合理安排内容与顺序,引导读者进入嵌入式系统领域,让读者能循序渐进地系统掌握嵌入式系统知识,同时也注重实例的典型性和实用性。希望本书对读者的嵌入式开发学习有所帮助。

本书中也引用了参考文献中的一些信息,正是这些优秀的作品为作者提供了丰富的知识,从而促使了本书内容更加丰满。在此对这些作者表示感谢。

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 E-mail:jiangjc@cqupt.edu.cn。

作者
2013 年 8 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概论	1
1.1 嵌入式系统简介	1
1.1.1 嵌入式系统的历史	1
1.1.2 嵌入式系统的定义	2
1.1.3 嵌入式系统的特点	4
1.2 嵌入式系统的分类	5
1.2.1 嵌入式系统的实时性分类	6
1.2.2 嵌入式系统的应用领域分类	6
1.3 嵌入式系统的发展现状和发展趋势	9
1.3.1 嵌入式系统的发展现状	9
1.3.2 嵌入式系统的发展趋势	10
习题 1	11
第 2 章 嵌入式系统的基础知识	12
2.1 嵌入式系统的基本结构	12
2.1.1 硬件层	12
2.1.2 中间层	13
2.1.3 系统软件层	14
2.1.4 应用层	15
2.2 嵌入式系统硬件基础	16
2.2.1 嵌入式微处理器	16
2.2.2 嵌入式存储器系统	24
2.2.3 嵌入式输入输出接口	28
2.3 嵌入式软件基础	29
2.3.1 嵌入式软件分类及特点	29
2.3.2 嵌入式软件体系结构	30
2.4 嵌入式系统中断管理与系统启动	36
2.4.1 中断基础知识	36
2.4.2 Boot Loader 基础	45
习题 2	48
第 3 章 嵌入式系统开发基础	49
3.1 嵌入式系统硬件平台	49
3.1.1 嵌入式处理器分类	50

3.1.2	常见的嵌入式处理器	52
3.2	嵌入式软件平台	58
3.2.1	常用嵌入式操作系统	58
3.2.2	嵌入式文件系统	62
3.2.3	嵌入式图形用户接口	65
3.3	嵌入式系统开发技术	67
3.3.1	嵌入式系统的设计流程	67
3.3.2	嵌入式系统的硬件/软件协同设计技术	67
3.3.3	嵌入式系统的可重构设计技术	69
3.3.4	嵌入式中间件技术	71
3.4	嵌入式系统开发与调试基础	74
3.4.1	嵌入式代码生成流程	74
3.4.2	嵌入式软件代码结构分析	76
3.4.3	嵌入式软件调试方法	80
习题 3		87
第 4 章	ARM Cortex-M3 处理器体系结构与开发环境	88
4.1	ARM 处理器的发展历程	88
4.2	Cortex-M3 处理器体系结构	91
4.2.1	Cortex-M3 体系结构简介	91
4.2.2	Cortex-M3 异常管理	97
4.2.3	Cortex-M3 复位异常	107
4.2.4	Cortex-M3 系统启动举例	111
4.3	Cortex-M3 嵌入式软件开发环境 RealView MDK	118
4.3.1	RealView 简介	118
4.3.2	μ Vision 使用入门	119
4.3.3	测试示例程序	124
4.3.4	指令模拟器	128
习题 4		129
第 5 章	嵌入式系统常用外设驱动编程实例	130
5.1	LPC1768 简介	130
5.1.1	LPC1768 概述	130
5.1.2	引脚概述	132
5.2	GPIO 与键盘实例	135
5.2.1	LPC1768 的 GPIO 概述	136
5.2.2	基于 GPIO 的矩阵键盘设计	138
5.2.3	键盘驱动程序设计	141
5.3	UART 异步串口模块实例	147
5.3.1	异步串行通信概述	147
5.3.2	LPC1768 UART 串口简介及接口电路设计	149

5.3.3	LPC1768 UART 驱动实例	155
5.4	A/D 转换器应用实例	158
5.4.1	A/D 转换器原理	158
5.4.2	LPC1768 A/D 转换器介绍	162
5.4.3	LPC1768 A/D 程序设计	164
5.5	触摸屏模块设计实例	165
5.5.1	触摸屏原理及有关技术	165
5.5.2	触摸屏驱动芯片 ADS7843 简介及接口电路设计	169
5.5.3	触摸屏驱动程序设计	171
5.6	LCD 模块设计	176
5.6.1	LCD 显示原理	176
5.6.2	TFT 型 LCD 显示屏简介及接口电路设计	180
5.6.3	TFT 型 LCD 液晶显示驱动程序设计	185
5.7	PWM 控制实例	192
5.7.1	PWM 控制的基本原理	192
5.7.2	LPC1768 PWM 概述	193
5.7.3	LPC1768 PWM 的驱动程序设计	197
	习题 5	202
第 6 章	嵌入式操作系统基础知识	203
6.1	操作系统基础知识	203
6.1.1	操作系统的基本概念	203
6.1.2	操作系统主要功能	204
6.1.3	操作系统的分类	206
6.2	嵌入式操作系统	208
6.2.1	嵌入式操作系统特点	209
6.2.2	实时操作系统基本概念	210
6.3	任务间互斥、同步与通信	221
6.3.1	任务的互斥	222
6.3.2	任务的同步	224
6.3.3	任务间的通信	225
	习题 6	228
第 7 章	嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$	230
7.1	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 内核结构	230
7.1.1	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 组成及功能	231
7.1.2	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 内核结构	233
7.2	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 任务管理	251
7.2.1	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统任务管理	251
7.2.2	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 用户任务管理	254
7.3	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 时间管理	264

7.3.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 时钟节拍管理	264
7.3.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 定时器管理	268
7.4	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务同步	275
7.4.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 信号量	275
7.4.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 事件标志组	281
7.5	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务通信	291
7.5.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 消息邮箱	291
7.5.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 消息队列	298
7.6	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务互斥	309
7.6.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 互斥原理	309
7.6.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 互斥信号量	310
	习题 7	316
第 8 章	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统应用及移植	317
8.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 应用基础	317
8.1.1	任务划分	317
8.1.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务堆栈设置	318
8.1.3	任务的执行分类及优先级设置	320
8.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 应用编程举例	323
8.2.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 同步应用实例	323
8.2.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 通信应用实例	325
8.2.3	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 互斥应用实例	328
8.2.4	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 事件标志组举例	330
8.3	操作系统移植	334
8.3.1	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植基础知识	335
8.3.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 LPC1768 上的移植实现	343
	习题 8	352
	参考文献	353

第1章 嵌入式系统概论

通过本章的学习,读者可以了解嵌入式系统的基本概念、特点、应用领域,以及嵌入式系统的现状和发展趋势。

1.1 嵌入式系统简介

“嵌入式系统”一般指非 PC 系统,有计算机功能但又不称之为计算机的设备或器材。它是以应用为中心,软硬件可缩扩的,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等综合性严格要求的专用计算机系统;主要由嵌入式处理器、相关支撑硬件、嵌入式操作系统及应用软件系统等组成。

与通用型计算机系统相比,嵌入式系统功耗低、可靠性高;功能强大、性能价格比高;实时性强,支持多任务;占用空间小,效率高;面向特定应用,可根据需要灵活定制。

嵌入式系统应用广泛,几乎包括了生活中的所有电气设备,如掌上 PDA、移动计算设备、电视机顶盒、智能手机、数字电视、多媒体、汽车、微波炉、数字相机、家庭自动化系统、电梯、空调、安全系统、自动售货机、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。

1.1.1 嵌入式系统的历史

从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用,嵌入式系统已经有了近 40 年的发展历史。特别是近年来微电子技术和软件技术的发展使得硬件成本大大降低,嵌入式操作系统也得到发展,软件的开发效率大大提高,嵌入式系统得到了广泛应用。

作为一个系统,往往是在硬件和软件交替发展的双螺旋的支撑下逐渐趋于稳定和成熟,嵌入式系统也不例外。嵌入式系统的出现最初是基于单片机的。20 世纪 70 年代单片机的出现,使得汽车、家电、工业机器、通信装置以及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能,更容易使用、更快、更便宜。这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点,但是这时的应用只是使用 8 位的芯片,执行一些单线程的程序,还谈不上“系统”的概念。

最早的单片机是 Intel 公司的 8048,它出现在 1976 年。Motorola 公司也在同时推出了 68HC05,Zilog 公司推出了 Z80 系列,这些早期的单片机均含有 256B 的 RAM、4KB 的 ROM、4 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器。之后在 20 世纪 80 年代初,Intel 公司又进一步完善了 8048,在它的基础上研制成功了 8051,这在单片机的历史上是值得纪念的一页,迄今为止,51 系列的单片机仍然是最为成功的单片机芯片之一,在各种产品中有着非常广泛的应用。随着微电子技术和嵌入式系统功能的新的需求,8 位的单片机在新的

应用中由于其性能不足而无法满足不同应用的需要,16位、32位及多核微处理器逐步取代8位单片机。以ARM系列处理器最为典型,从ARM7到ARM11,从Cortex-M、Cortex-R到Cortex-A系列,ARM公司设计出不同的处理器结构和功能来满足不同应用的需要。

从20世纪80年代早期开始,嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件,这样可以获取更短的开发周期,更低的开发资金和更高的开发效率,“嵌入式系统”真正出现了。确切地说,这个时候的操作系统是一个实时核,这个实时核包含了许多传统操作系统的特征,包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。其中比较著名的有Ready System公司(已被Mentor Graphics公司收购)的VRTX(Versatile Real Time eXecutive)、Integrated System公司的PSOS、Wind River公司(已被Intel公司收购)的VxWorks、QNX公司的QNX等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特点:它们均采用占先式的调度,响应的时间很短,任务执行的时间可以确定;系统内核很小,具有可裁剪,可扩充和可移植性,可以移植到各种处理器上;较强的实时和可靠性,适合嵌入式应用。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现,使得应用开发人员得以从小范围的开发中解放出来,同时也促使嵌入式有了更为广阔的应用空间。

20世纪90年代以后,随着对实时性要求的提高,软件规模不断上升,实时内核逐渐发展为实时操作系统(RTOS),并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。这时候更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景,开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上面的几家老牌公司开发的系统以外,还出现了Palm OS,WinCE,嵌入式Linux,Lynx,Nucleus,以及国内的Hopen,Delta OS等嵌入式操作系统。随着嵌入式技术的发展前景日益广阔,相信会有更多的嵌入式操作系统软件出现。

1.1.2 嵌入式系统的定义

根据IEEE(电气和电子工程师协会)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置”^①。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出嵌入式系统的精髓,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。

在这个定义上,可从以下几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。因此可以这样理解上述三个面向的含义,即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,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。所以,介入嵌入式系统行业,必须有一个正确的定位。例如Palm公司之所以在PDA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Wind River公司的VxWorks之所以在火星车上得以应用,则是因为其

^① 原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants。

高实时性和高可靠性; Android 在智能手机市场占有了三分之一以上的市场,主要是 Android 手机系统的开放性和服务免费,是一个对第三方软件完全开放的平台,开发者在为其开发程序时拥有更大的自由度。

- 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。所以,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,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千字节到几十千字节微内核,需要根据实际的使用进行功能扩展或者裁减。正是由于微内核的存在,使得这种扩展能够非常顺利地进行。

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,而且有时很难以给它下一个准确的定义。现在人们讲嵌入式系统时,某种程度上指近些年比较热门的、具有操作系统的嵌入式系统,本书在进行分析和展望时,也沿用这一观点。

嵌入式系统一般指非 PC 系统,它包括硬件和软件两部分。硬件包括处理器(微处理器)、存储器及外设器件和 I/O 端口、图形控制器等。软件部分包括操作系统(OS)(要求实时和多任务操作)和应用程序编程。有时设计人员把这两种软件组合在一起。应用程序控制着系统的运作和行为,而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

总的说来,嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软硬件可定制,适用于各种应用场合,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及外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序等部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。嵌入式系统几乎包括了生活中的所有电器设备,如掌上 PDA、移动计算设备、电视机顶盒、手机上网、数字电视、多媒体、汽车、微波炉、数字相机、家庭自动化系统、电梯、空调、安全系统、自动售货机、蜂窝式电话、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器和嵌入式操作系统。嵌入式微处理器一般具备以下 4 个特点:

- 对实时多任务有很强的支持能力,能完成多任务并且有较短的中断响应时间,从而使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。

- 具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化,而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用,需要设计强大的存储区保护功能,同时也有利于软件诊断。

- 可扩展的处理器结构,能最迅速地开发出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器。

- 嵌入式微处理器必须功耗很低,尤其是用于便携式的无线及移动的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此,如需要功耗只有 mW 甚至 μ W 级。

嵌入式操作系统与其他类型的操作系统相比,具有以下一些特点:

- 体积小。嵌入式系统有别于一般的计算机处理系统,它不具备像硬盘那样大容量的存储介质,而大多使用闪存(Flash Memory)作为存储介质。这就要求嵌入式操作系统只能运行在有限的内存中,不能使用虚拟内存,中断的使用也受到限制。因此,嵌入式操作系统必须结构紧凑,体积微小。

- 实时性。大多数嵌入式系统都是实时系统,而且多是强实时多任务系统,要求相应的

嵌入式操作系统也必须是实时操作系统(RTOS)。实时操作系统作为操作系统的一个重要分支已成为研究的一个热点,主要探讨实时多任务调度算法和可调度性、死锁解除等问题。

• 特殊的开发调试环境。提供完整的集成开发环境是每一个嵌入式系统开发人员所期待的。一个完整的嵌入式系统的集成开发环境一般需要提供的工具是编译/连接器、内核调试/跟踪器和集成图形界面开发平台。其中的集成图形界面开发平台包括编辑器、调试器、软件仿真器和监视器等。

1.1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是微电子学、计算机科学、电子学、对象学4个学科的交叉和融合,微电子学将电子材料、工艺、集成电路以及芯片支持用于嵌入式产品的制造;计算机科学和电子学是核心,计算机科学为嵌入式系统提供了计算机工程方法、基础软件、集成开发环境,电子学为嵌入式提供了系统设计方法、电路理论等;对象学是各个应用对象所涉及学科的综合,是与嵌入式产品最终应用相关的学科,例如汽车、消费电子、医疗和军事航天等。

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、操作系统内核比较小、具有专门的开发工具和环境等特点。

1. 功能特定

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。

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巧并且价格低廉。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。

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。

2. 规模可变、扩展灵活

这里的规模可变主要指嵌入式系统是以微处理器与周边器件构成核心的,其规模可以变化。嵌入式微处理器可以从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,通常都是指嵌入式微处理器核心电路部分,也就是本书中提到的核心板部分,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。由于嵌入式微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,它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。

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,这带来了开发上的不方便,也就是说如果不把系统软件和上层应用软件区分开的话,每一次修改软件,都要把系统软件和上层软件一起编译调试,会带来开发时间上的浪费。

3. 实时性和稳定性

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。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。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。

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。现在发展越来越快的 GPS 车辆实时监控系统中同样也对实时性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实时性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。

4. 操作系统内核比较小

嵌入式系统一般都是应用于小型电子装置,正是因为嵌入式系统应用的特殊性,所以系统资源相对有限,使得嵌入式系统在实时性、功耗、体积、存储空间上都有限制,要求嵌入式系统操作内核也比传统的操作系统小很多,小的有几千字节,大的也不过几十兆字节。嵌入式操作系统内核比较小的有 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 、Nucleus 以及基于 OSEK/VDX 规范的实时操作系统等,相对较大的 WinCE、Linux 等操作系统,其内核也可以裁减到只有几十兆字节,比 PC 机上运行的操作系统规模小得多。

5. 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,所以必须有一套开发工具和开发环境才能进行开发,这些工具和开发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

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、无线路由器和电视机顶盒等。按照不同的方法,嵌入式系统可以进行不同的分类。

按照处理器的不同可以分为:8 位、16 位、32 位、64 位、多核嵌入式系统;按照实时性不同可分为:软实时、硬实时;按照应用领域不同可分为:消费类、智能仪器仪表类、通信信息类、过程控制类、国防武器类、生物微电子类、汽车电子类等。下面对嵌入式系统分类进行简单说明。

1.2.1 嵌入式系统的实时性分类

根据嵌入式系统的定义可知,嵌入式系统对实时性存在要求。不同的应用对嵌入式系统的实时性要求存在差别,按照实时性的不同可将嵌入式系统分为软实时系统和硬实时系统两类。

1. 软实时系统

软实时系统的时限是一个柔性灵活的,可以容忍偶然的超时错误。失败造成的后果并不严重,仅仅是降低了系统的吞吐量。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此前得到处理。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。基于 Linux 操作系统的嵌入式系统是一个典型的软实时系统,尽管在 RTLinux 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 RTLinux 还是一个软实时系统。基于 WinCE 的嵌入式系统也是软实时系统。

2. 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。硬实时系统要求系统运行有一个刚性的、严格可控的时间限制,它不允许任何超出时限的错误发生。超时错误会带来损害甚至导致系统失败,或者导致系统不能实现它的预期目标。基于 VxWorks、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 、eCOS、Nucleus 等操作系统的嵌入式系统是硬实时系统。

1.2.2 嵌入式系统的应用领域分类

嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景,可应用在消费电子、智能仪器仪表、通信设备、国防武器、生物微电子和汽车电子等方面。

1. 消费电子类嵌入式产品

嵌入式系统在消费电子类产品应用领域的发展最为迅速,而且在这个领域中对嵌入式微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。如图 1-1 所示,大家最熟悉的莫过于智能手机、PDA、电子词典、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,如果没有这些消费类电子产品,生活就像以前没有电一样很不方便。

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中进行适当的处理,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. 智能仪器仪表类嵌入式产品

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,



图 1-1 常用消费电子类嵌入式产品

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。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. 通信设备类嵌入式产品

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。图 1-2 所示为智能家居系统中的嵌入式设备。

4. 国防武器类嵌入式产品

国防武器设备是应用嵌入式系统设备较多的领域之一,如雷达识别、军用数传电台、电子对抗设备等,如图 1-3 所示。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的 Adhoc 设备安装在直升机、坦克、移动步兵身上构成一个自愈合自维护的作战梯队。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。

5. 生物微电子类嵌入式产品

指纹识别、声纹识别、人脸识别、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,可以想象随着技术的发展,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。

6. 汽车电子类嵌入式产品

众所周知嵌入式系统有体积小、功耗低、集成度高、子系统间能通信融合的优点,这就决定了它非常适合应用于汽车工业领域,另外随着汽车技术的发展以及微处理器技术的不断进步,就使得嵌入式系统在汽车电子技术中得到了广泛应用。目前,从车身控制、底盘控制、发动机管理、主被动安全系统到车载娱乐、信息系统都离不开嵌入式技术的支

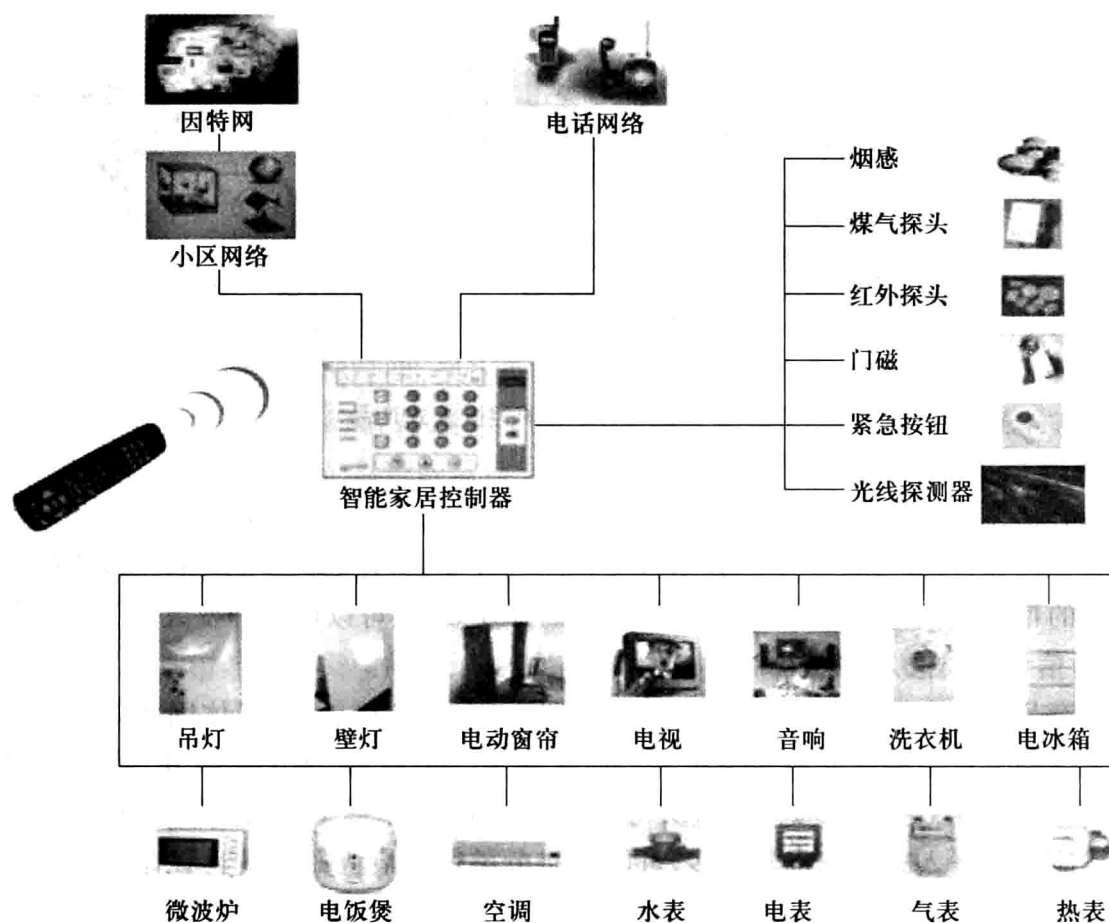


图 1-2 智能家居系统嵌入式设备

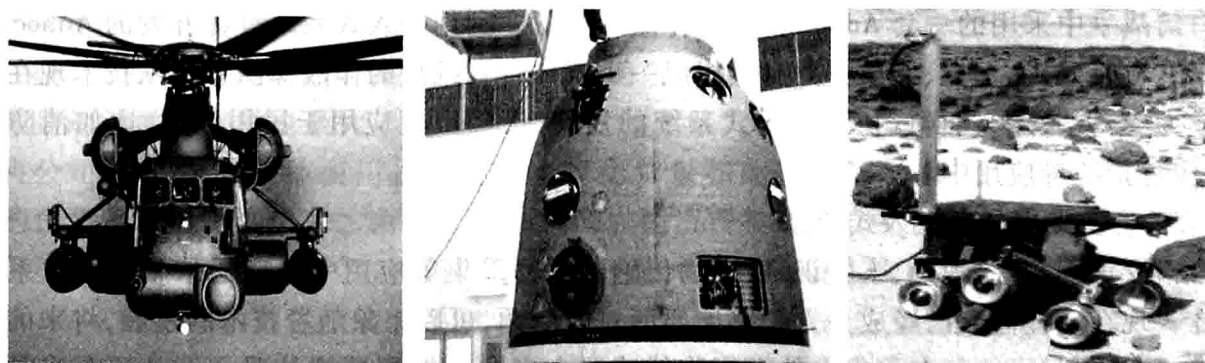


图 1-3 国防武器类嵌入式产品

持,如图 1-4 所示。汽车电子类嵌入式系统大大提高了汽车电子系统的实时性、可靠性和智能化程度。

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。