



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

嵌入式系统基础实践教学

主 编 韩 磊

软硬并重，双线展开，不偏不倚，内容全面
案例引入，知识归纳，阅读扩展，扣人心弦
理论为基，实践为要，应用为纲，学以致用



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

嵌入式系统基础实践教程

主 编 韩 磊

副主编 曹欲晓 陈 飞

参 编 丁宋涛 吕俊斌 钱 瑛



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书立足于嵌入式系统基本理论,侧重于基础实践开发,面向实际应用;系统地介绍了嵌入式系统的基本概念、组成、设计原则与方法,从嵌入式系统硬件、嵌入式系统软件、嵌入式系统应用三个层面展开论述。在嵌入式硬件方面,按照 ARM 核到 S3C2410 芯片,再到板级系统的顺序逐步扩展,详细介绍了 ARM 核的寄存器文件、工作模式和指令系统,以硬件最小系统为突破口,介绍了 S3C2410 芯片的外设接口及板级扩展方法;在嵌入式软件方面,着重阐述了 C 语言面向嵌入式系统编程的特点和技术要领,介绍了 ARM 软件开发工具,结合嵌入式操作系统的基本原理分析了 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统的源码,讲述了以 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 为操作系统的软件体系结构;最后,以嵌入式工业控制为应用案例,介绍了嵌入式系统开发流程以及 S3C2410 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 应用设计方案。

本书融合了嵌入式系统的前导知识,内容丰富,思路清晰,可作为本科、专科院校嵌入式系统入门课程的教学用书,也可供基于 S3C2410 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 进行应用开发的广大工作人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统基础实践教程/韩磊主编. —北京:北京大学出版社, 2013.8

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-22447-2

I. ①嵌… II. ①韩… 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(2013)第 084188 号

书 名: 嵌入式系统基础实践教程

著作责任者: 韩 磊 主编

策划编辑: 郑 双

责任编辑: 郑 双

标准书号: ISBN 978-7-301-22447-2/TP · 1283

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京富生印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 410 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

在后 PC 时代，计算将不再局限于传统的 PC 和服务器环境，网络计算和移动计算将很快成为人们日常生活的一部分，并逐渐呈现出普及计算模式。作为普及计算的支撑技术，嵌入式实时系统正逐步应用到越来越多的领域，包括工业控制、军事电子、医疗电子、航空航天、交通、飞行控制、通信、多媒体、办公自动化、实时模拟、虚拟现实、信息家电等领域。

嵌入式系统最初的应用是基于单片机的，大多以可编程控制器的形式出现，具有监测、伺服、设备指示等功能，其通常应用于各类工业控制和飞机、导弹等武器装备中，一般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，运行结束后再清除内存。这些装置虽然已经初步具备了嵌入式的应用特点，但仅仅只是使用 8 位的 CPU 芯片来执行一些单线程的程序，因此严格地说还谈不上“系统”的概念。20 世纪 90 年代后，伴随着网络时代的来临，网络、通信、多媒体技术得以发展，8/16 位单片机在速度和内存容量上已经很难满足这些领域的应用需求。而由于集成电路技术的发展，32 位微处理器价格不断下降，综合竞争能力已可以和 8/16 位单片机媲美。32 位微处理器面向嵌入式系统的高端应用，由于速度快，资源丰富，加上应用本身的复杂性、可靠性要求等，软件的开发一般会需要操作系统平台支持。近些年，嵌入式设备大量涌现，如微波炉、数码照相机、机顶盒、手机、PDA、MP3、各种网络设备等。嵌入式系统开发应用需求越来越大，使嵌入式系统成为继 PC 和 Internet 之后 IT 技术的最热点，而构成嵌入式系统的主流趋势是 32 位嵌入式微处理器加实时多任务操作系统，目前的嵌入式系统往往指的是包含这种资源的系统。

随着嵌入式系统的市场快速增长，嵌入式人才缺口将急剧增大。在 IEEE 计算机协会 2004 年 6 月发布的 Computing Curricula Computer Engineering Report, Ironman Draft 报告中把嵌入式系统课程列为计算机工程学科领域之一，把软硬件协同设计列为高层次的选修课程。美国科罗拉多州立大学/嵌入式系统认证，课程目录包括实时嵌入式系统导论、嵌入式系统设计和嵌入式系统工程训练课程。美国华盛顿大学嵌入式系统课程名称是嵌入式系统设计导论，它基本包括了前面三门课程的内容。正基于此，国内众多高校、职业技术学院和培训机构纷纷开展嵌入式系统的教学和培训。但对于嵌入式系统这一跨学科、软硬件集成、与业界需求密切相关的综合性系统来讲，要在短期内建立起一套完整的、科学的、系统的教学体系绝非易事。

嵌入式系统是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。嵌入式系统本质上是一个专用计算机系统，包括硬件、软件和固件等方面的知识。因此，学习嵌入式系统需要掌握全面的基础知识，例如，硬件方面，只了解处理器的寄存器、工作模式是不够的，还应理解存储器及存储映射、寻址方式和调试接口，掌握具体处理器芯片的外围设备、接口技术与硬件设计，等等；软件方面，单纯了解操作系统的工作原理、体系结构、API 调用和应用程序开发也是不够的，开发者还要关注操作系统的移植和引导启动、地址映射、驱动程序开发



等复杂的细节问题。面对嵌入式系统庞大的知识体系，不同专业的学生往往因为背景知识匮乏而显得力不从心。计算机科学与技术专业的学生由数据结构、编译原理、操作系统等专业核心课程做支撑，学习嵌入式软件开发的难度不是很大，但是对于硬件系统的比较、选择、理解、分析和设计，感觉很吃力；而电子信息科学与技术专业的学生，情况却相反，他们强于硬件分析设计，弱在嵌入式系统软件开发。这就形成了嵌入式系统的全面知识需求与学生背景知识不足之间的矛盾，该矛盾普遍存在于嵌入式系统教学过程中。

现行的多数嵌入式系统教材往往忽视了嵌入式系统知识体系的全面性和系统性，或片面强调硬件，或重点突出软件，忽略对前导知识的融会贯通，不是最合适的嵌入式系统入门读物。本书着眼于嵌入式系统的构建过程，主抓嵌入式硬件、嵌入式软件两条主线，以低廉的处理器和简单的操作系统作为分析对象，面向应用，突出基础实践，不乏对基础知识的总结以及对前沿技术的展望，逐步带领初学者入门嵌入式系统技术。

本书分3篇，共10章，具体内容安排如下：

第一篇 硬件篇，主要包括第1~4章。主要介绍嵌入式系统的基本概念、组成、发展、应用，ARM核的特点、体系结构以及指令系统，S3C2410芯片的接口和板级扩展方法。

第二篇 软件篇，主要包括第5~9章。主要介绍面向嵌入式系统环境的C语言编程，ARM软件开发平台，嵌入式操作系统基本原理，然后以 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统为例，分析其任务管理和内存管理的基本方法，构建了以 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 为核心的软件体系。

第三篇 应用篇，即第10章。以嵌入式工业控制器为例，介绍了嵌入式系统开发的基本流程，然后选用S3C2410芯片和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统构建工业控制器，介绍了多个接口的软硬件设计方法。

本书的第1~3章由陈飞编写，第5、8、9章由曹欲晓编写，第4、6、7、10章由韩磊编写，最后由韩磊通稿。丁宋涛、吕俊斌、钱瑛参与了部分章节的编写和修改，在此表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1	2.6 案例分析	42
1.1 什么是嵌入式系统	3	2.6.1 RISC 思想在 ARM 处理器 设计中的体现	42
1.2 嵌入式系统的应用领域	4	2.6.2 ARM 设计思想中的 改进之处	42
1.3 嵌入式系统体系结构	7	本章小结	43
1.3.1 嵌入式系统硬件组成	7	阅读材料	44
1.3.2 嵌入式系统软件结构	9	习题	45
1.4 嵌入式微处理器概述	12	第 3 章 ARM 嵌入式微处理器指令集	46
1.5 嵌入式系统的发展趋势	15	3.1 ARM 指令集概述	48
1.6 案例分析	16	3.1.1 ARM 指令的特点	48
本章小结	18	3.1.2 ARM 指令集分类与格式	48
阅读材料	18	3.1.3 条件执行	49
习题	19	3.2 ARM 处理器的寻址方式	49
第 2 章 嵌入式微处理器核心	20	3.2.1 立即寻址	50
2.1 ARM CPU ISA 的发展历史	22	3.2.2 寄存器寻址	50
2.1.1 ARM CPU ISA 版本	22	3.2.3 寄存器间接寻址	50
2.1.2 ARM 内核版本命名规则	24	3.2.4 寄存器移位寻址	50
2.1.3 主流 ARM 处理器的应用	24	3.2.5 基址加变址寻址	51
2.2 典型 ARM 处理器内核结构	26	3.2.6 块拷贝寻址	52
2.2.1 ARM7TDMI 内核结构	26	3.2.7 堆栈寻址	52
2.2.2 ARM9TDMI 内核结构	28	3.2.8 相对寻址	53
2.2.3 ARM Cortex-A9 内核结构	29	3.3 ARM 指令集	54
2.3 ARM 编程模型	31	3.3.1 数据处理指令	54
2.3.1 ARM 处理器的工作状态	31	3.3.2 Load/Store 指令	59
2.3.2 ARM 处理器的运行模式	31	3.3.3 分支指令	63
2.3.3 ARM 寄存器组织	32	3.3.4 程序状态寄存器访问指令	66
2.4 异常	35	3.3.5 协处理器操作指令	67
2.4.1 ARM 体系结构支持的 异常类型	36	3.3.6 异常产生指令	68
2.4.2 异常的响应	37	3.4 ARM 汇编伪指令与伪操作	69
2.4.3 异常的返回	37	3.4.1 ARM 伪指令	69
2.5 存储方式及存储器管理单元	40	3.4.2 ARM 汇编语言伪操作概述	71
2.5.1 大、小端格式	40	3.4.3 ADS 编译环境下的伪操作	71
2.5.2 存储器管理单元	41		



3.4.4	GNU 编译环境下的伪操作.....	76	第 5 章	嵌入式 C 语言编程基础.....	119
3.5	ARM 汇编语言程序设计实例	79	5.1	C 语言的关键字与运算符	121
3.6	案例分析.....	83	5.1.1	C 语言关键字	121
	本章小结.....	85	5.1.2	数据类型关键字.....	122
	阅读材料.....	86	5.1.3	存储类型关键字	125
	习题.....	87	5.1.4	流程控制关键字	126
第 4 章	嵌入式系统硬件平台	89	5.1.5	底层系统相关关键字	128
4.1	嵌入式最小系统.....	91	5.1.6	C 语言运算符	129
4.1.1	最小系统架构	91	5.2	C 语言的函数	132
4.1.2	模块典型电路	92	5.2.1	函数、变量的定义和声明	133
4.2	S3C2410X 微处理器.....	93	5.2.2	变量的作用域和生命期	134
4.2.1	S3C2410X 微处理器简介.....	93	5.2.3	函数间的参数传递.....	135
4.2.2	S3C2410X 微处理器 体系结构	94	5.2.4	利用参数返回结果	137
4.3	存储系统.....	96	5.3	预处理	138
4.3.1	存储系统基础知识	96	5.3.1	宏定义	138
4.3.2	S3C2410X 微处理器的 存储器接口	99	5.3.2	条件编译	140
4.3.3	S3C2410X 微处理器的 存储器配置实例	100	5.4	指针	142
4.4	I/O 系统.....	102	5.4.1	指针的本质	142
4.4.1	I/O 系统基础	102	5.4.2	指针的赋值与初始化	142
4.4.2	S3C2410X 的 I/O 端口	105	5.4.3	指针和数组	143
4.5	人机交互系统.....	106	5.4.4	指针数组和数组指针	145
4.5.1	LCD 接口	106	5.4.5	函数指针和指针函数	146
4.5.2	触摸屏的应用	109	5.4.6	直接向内存写入数值	149
4.5.3	键盘接口	111	本章小结	149	
4.6	调试接口.....	113	阅读材料	150	
4.6.1	JTAG 逻辑结构.....	113	习题	151	
4.6.2	JTAG 状态和工作过程	113	第 6 章	ARM 软件开发工具.....	153
4.7	案例分析.....	115	6.1	嵌入式软件开发模式及调试工具	154
4.7.1	嵌入式最小系统	115	6.1.1	交叉编译开发模式	154
4.7.2	面向具体应用的接口	116	6.1.2	调试方式	155
4.7.3	软件环境	116	6.2	几种常见的 ARM 开发工具	156
本章小结.....	116	6.2.1	ARM SDT 简介	156	
阅读材料.....	117	6.2.2	ADS 简介	156	
习题.....	118	6.2.3	Embest IDE 简介	157	
		6.2.4	Multi 2000 简介	157	
		6.3	RealView MDK 的使用入门	158	
		6.3.1	RealView MDK 概述	158	

6.3.2	μ Vision IDE 操作界面	159	8.2.8	μ C/OS-II 的中断	203
6.3.3	简单工程示例	161	8.2.9	μ C/OS-II 的时钟中断	204
	本章小结	168	8.2.10	μ C/OS-II 的时间管理	205
	阅读材料	169	8.3	μ C/OS-II 中的任务同步和通信	206
	习题	170	8.3.1	事件控制块	207
第 7 章	嵌入式操作系统原理	171	8.3.2	信号量	207
7.1	嵌入式操作系统概述	173	8.3.3	邮箱	209
7.1.1	嵌入式操作系统的特点	173	8.3.4	消息队列	211
7.1.2	操作系统的分类	174	8.4	μ C/OS-II 在 S3C2410 上的移植	212
7.2	进程和线程的基本概念	175	8.4.1	移植条件	213
7.2.1	进程和线程的概念	175	8.4.2	OS_CPU.h 的移植	214
7.2.2	常见嵌入式操作系统中的 进程和线程	176	8.4.3	OS_CPU.c 的移植	215
7.3	任务管理	177	8.4.4	OS_CPU_A.s 的移植	216
7.3.1	任务调度	177	8.5	案例分析	220
7.3.2	任务同步与通信	179	8.5.1	监控终端软件任务的划分	220
7.4	内存管理	181	8.5.2	监控终端软件任务之间的 通信	221
7.4.1	内存管理分类	181	8.5.3	通过 μ C/OS-II 实现任务的 调度	221
7.4.2	虚拟内存	183	本章小结	221	
7.5	案例分析	185	阅读材料	222	
本章小结	186	习题	223		
阅读材料	186				
习题	187				
第 8 章	μC/OS-II 嵌入式操作系统 内核分析	189	第 9 章	基于 μC/OS-II 的软件体系 结构设计	225
8.1	μ C/OS-II 嵌入式实时操作系统	191	9.1	基于 μ C/OS-II 的嵌入式软件 体系结构	227
8.1.1	μ C/OS-II	191	9.1.1	硬件驱动程序	227
8.1.2	μ C/OS-II 的应用领域	192	9.1.2	μ C/OS-II 内核	227
8.1.3	μ C/OS-II 的体系结构	193	9.1.3	系统软件	228
8.2	μ C/OS-II 的任务管理	194	9.1.4	中间件	228
8.2.1	任务的概念	194	9.1.5	用户应用程序	228
8.2.2	任务的优先级	195	9.2	嵌入式文件系统	228
8.2.3	任务的状态	195	9.2.1	文件系统基础知识	228
8.2.4	任务控制块	196	9.2.2	嵌入式文件系统 μ C/FS	229
8.2.5	任务就绪表	198	9.3	嵌入式图形用户界面	232
8.2.6	任务调度	201	9.3.1	μ C/GUI 介绍	233
8.2.7	系统任务	202	9.3.2	使用 μ C/GUI 的前期工作	234



9.3.3 μ C/GUI 与内核的整合	235	10.3.2 软件方案	249
9.4 嵌入式设备驱动程序	237	10.4 硬件设计	250
9.4.1 设备驱动程序	237	10.4.1 RTC 电路设计	250
9.4.2 S3C2410 的 UART	237	10.4.2 模拟量输入接口	251
9.4.3 UART 驱动程序设计	238	10.4.3 开关量输入/输出接口	252
本章小结	242	10.4.4 CAN 接口	253
阅读材料	242	10.4.5 以太网接口	255
习题	243	10.4.6 RS-485 接口	256
第 10 章 嵌入式系统的应用		10.5 软件设计	257
开发实例	244	10.5.1 工业控制器软件架构	257
10.1 嵌入式系统开发流程	245	10.5.2 CAN 通信协议	258
10.2 工业控制器概述	246	10.5.3 Modbus 通信协议	261
10.2.1 项目背景	246	10.5.4 TCP/IP 协议	264
10.2.2 功能描述	247	本章小结	267
10.3 设计方案	248	阅读材料	267
10.3.1 硬件方案	248	习题	268
		参考文献	270



第 1 章

嵌入式系统概述



学习目标

- 了解嵌入式系统基本概念和特点;
- 了解嵌入式系统的软硬件体系结构;
- 了解嵌入式微处理器特点及当前主流的嵌入式微处理器;
- 了解嵌入式系统的发展现状及趋势。



知识结构

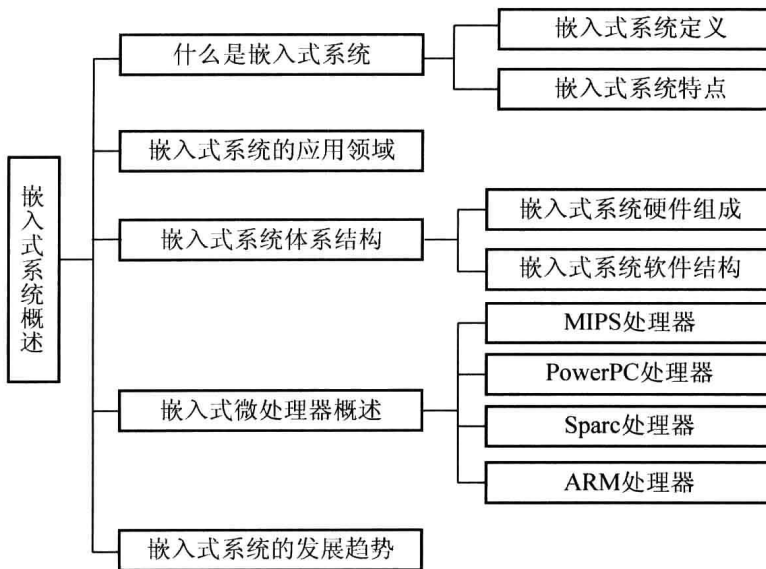


图 1.1 嵌入式系统基本概念知识结构图



导入案例

在介绍嵌入式系统的概念之前，先介绍一种大家都很熟悉的嵌入式产品——智能手机。

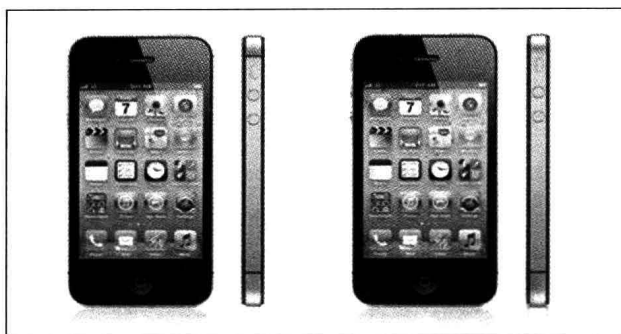


图 1.2 iPhone 4 和 iPhone 4S 智能手机

随着移动通信技术的快速发展，手机的功能越来越多，现在的手机已经不只是用于语音通信的设备，而是集成短信、彩信、视频、摄像、游戏、上网、移动办公等多功能的嵌入式产品，这种集成多功能的手机就被称为智能手机。其中，最具有代表性的智能手机，属苹果公司的 iPhone 系列手机，iPhone 3GS、iPhone 4、iPhone 4S，如今已经风靡全球，而 iPhone 5 也已经上市。其中 iPhone 4 和 iPhone 4S 是目前使用最广的苹果手机，以其时尚的外观、高清晰的屏幕、优越的处理器性能以及数不胜数的应用程序，得到广大消费者的热衷。图 1.2 即为 iPhone 4 和 iPhone 4S 的正面外观图。表 1-1 为 iPhone 4S 和 iPhone 4 基本配置。

表 1-1 iPhone 4S 和 iPhone 4 基本配置

产品名称	iPhone 4S	iPhone 4
主屏尺寸	3.5 英寸	3.5 英寸
主屏材质	IPS	IPS
操作系统	iOS 5	iOS 5
核心数	双核	单核
CPU 型号	苹果 A5	苹果 A4
CPU 频率	800MHz	800MHz
内置存储	16GB/32GB/64GB	8GB/16GB/32GB
机身内存	512MB RAM	512MB RAM
电池容量	1420mAh	1420mAh
摄像头像素	前：30 万，后：800 万	前：30 万，后：500 万
WiFi	802.11 b/g/n(2.4GHz)	802.11 b/g/n(2.4GHz)
蓝牙	蓝牙 4.0	蓝牙 2.1
传感器	加速传感器、数字罗盘、陀螺仪	加速传感器、数字罗盘、陀螺仪

iPhone 4 和 iPhone 4S 手机的功能主要有以下几方面。

基本功能：通话功能、铃声设置、通讯录管理、短信功能、邮件收发、中英文输入、内置游戏、移动办公、时间管理；



数据应用功能: 蓝牙、上网、USB 接口、无线通信(Wi-Fi)、GPS 定位;

拍照功能: 摄像、拍照;

多媒体娱乐: SNS 服务(QQ、微博、飞信、MSN)、多媒体、音乐播放、视频播放、图片处理。

前面给出了一个典型的嵌入式产品的例子, 嵌入式系统在实际生活中的应用非常广泛, 在日常生活中无处不在。本章将着重讲解嵌入式系统的定义、特点、体系结构等内容。

1.1 什么是嵌入式系统

以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性的特点, 将其嵌入到一个对象体系中, 可以实现对对象体系的智能化控制。例如, 将微型计算机经电气加固、机械加固, 并配置各种外围接口电路, 安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。一辆豪华的汽车可能就装配了 70 个以上的微处理器, 它们分布在汽车控制系统的众多部件当中。计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。因此, 为了区别于原有的通用计算机系统, 把嵌入到对象体系中, 实现对象体系智能化控制的计算机, 称为嵌入式计算机系统, 也就是嵌入式系统。

1. 嵌入式系统定义

目前对于嵌入式系统没有一种准确的定义, 下面给出两种比较常见的定义。

第一种, 电气和电子工程师协会(IEEE)对嵌入式系统的定义为“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”。可以看出, 嵌入式系统是一种装置, 是计算机软件 and 硬件的综合体, 还可以涵盖机电等附属装置。

第二种, 业界目前普遍采用的定义方式: 嵌入式系统是以应用为中心、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。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序等四个部分组成, 用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

2. 嵌入式系统特点

与通用的计算机系统不同, 嵌入式系统通常具有以下特点。

(1) 专用性

通用计算机可以同时满足多种不同的功能, 例如, 可以用它来观看视频、听音乐, 同时还可以用来开发应用程序。但嵌入式系统只能完成某些特定目的的任务, 是面向特定应用, 大多工作在特定用户群设计的系统中。

(2) 系统精简

嵌入式系统的软硬件都必须高效设计, 在保证系统稳定、安全、可靠的基础上进行量体裁衣, 去除冗余。力争用较少的资源实现较高的性能。一方面降低应用成本, 另一方面也可以提供系统的安全可靠。在满足应用需求的前提下达到最精简的配置。

(3) 低功耗

有很多的嵌入式系统对象都是一些小型应用系统, 如手机、PDA、MP3、数码照相机





等, 这些设备不可能像通用计算机一样配置容量较大的电源, 也无法配备各种不同的散热片或风扇进行系统散热。低功耗一直是嵌入式系统追求的目标。因此在设计时, 有严格的功耗预算, 处理器大部分时间都必须工作在低功耗的睡眠模式下, 只有在需要处理任务时, 才被唤醒。当然也是为了降低系统的功耗, 嵌入式系统中的软件一般不存储于磁盘等载体中, 而都固化在存储器芯片或单片系统的存储器中。

(4) 实时性

嵌入式系统主要用来对宿主对象进行控制, 在很多使用场合, 如生产过程控制、传输通信、数据采集、军事设备、航空航天等, 都对嵌入式系统有或多或少的实时性要求。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操作系统, 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。

(5) 可靠性

可靠性是嵌入式系统一个非常重要的指标, 因为工作环境往往比较恶劣, 如电磁干扰、高温高湿、静电干扰等, 而且嵌入式设备通常都需要在无人值守的场合长时间稳定运行, 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, 在人烟稀少的气象检测系统中以及为侦察敌方行动的小型智能装置中等。有些嵌入式系统所承担的任务涉及产品质量、人身设备安全、国家机密等, 例如, 航空航天控制系统一旦发生故障, 则可能发生灾难性的后果。所以与普通的计算机系统相比, 嵌入式系统对可靠性的要求极高。

(6) 技术融合

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术以及电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物, 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。通用计算机行业中, 占整个计算机行业 90% 的 PC 产业, 绝大部分采用的是 Intel 的 x86 体系结构, 而芯片厂商则集中在 Intel、AMD、Cyrix 等几家公司, 操作系统方面更是被 Microsoft 占据垄断地位。但这样的情况却不会在嵌入式系统领域出现。这是一个分散的, 充满竞争、机遇与创新的工业, 没有哪个公司的操作系统和处理器能够垄断市场。

(7) 开发工具和环境

通常嵌入式系统本身是不具备自主开发能力的, 即在系统设计完成以后, 用户通常不能对其中的程序功能进行修改, 因此必须有一套开发工具和环境才能对其进行开发。这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软、硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。

1.2 嵌入式系统的应用领域

由于嵌入式系统具有体积、性能、功耗、可靠性等方面的突出优势, 目前已经广泛应用于工业控制、军事国防、航空航天、消费电子、信息家电、网络通信等领域。可以说, 我们就生活在一个嵌入式的世界, 各种电子表、电话、手机、音乐播放器、智能电视、机



顶盒、洗衣机、电饭锅、微波炉都有嵌入式系统的存在。图 1.3 所示为嵌入式系统的应用领域，随着嵌入式技术的不断发展，其应用的前景将更加广阔。

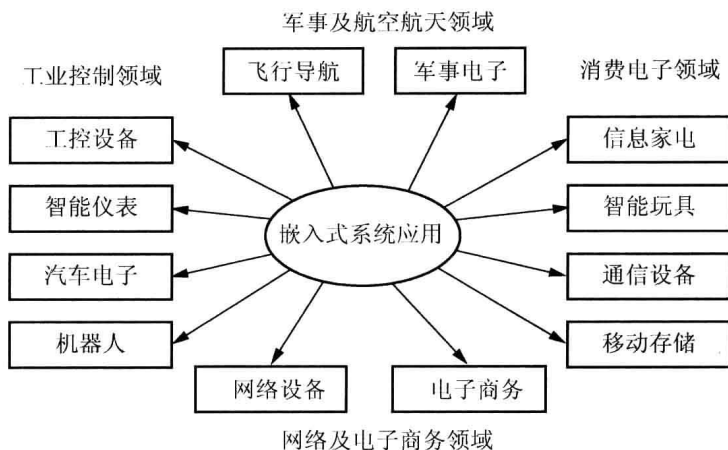


图 1.3 嵌入式系统的应用领域

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、32 位嵌入式微控制器在应用中，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、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、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。图 1.4 所示为工业用无线数据采集器，应用于水利、环保、电力等行业，提供高速稳定数据采集和传输功能。



图 1.4 无线数据采集器

2. 军事电子与航空航天

嵌入式系统在军事和航空领域上的应用体现在军事侦察、飞行控制、导弹控制、后勤保障现代化和战场系统网络化等方面。图 1.5 所示为嵌入式系统在导弹控制中的应用，实现对导弹状态的控制和发射。

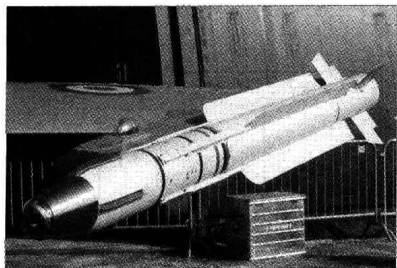


图 1.5 导弹控制

3. 通信与网络设备

通信系统以及通信网络设备，包括交换机、机顶盒、路由器、调制解调器等。图 1.6 所示为嵌入式系统在高端无线路由器上的应用，传输速度快，无线信号覆盖范围广。

4. 信息家电

信息家电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。图 1.7 所示为苹果公司生产的 iPad 2 平板电脑，具有精美的外观和优质的图像处理功能，且具备办公、娱乐等多媒体功能。

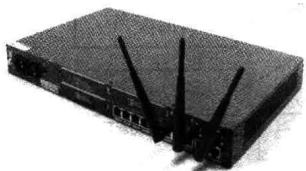


图 1.6 高端无线路由器

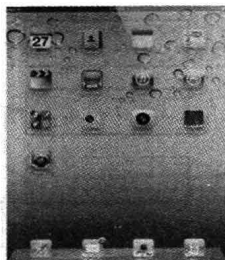


图 1.7 iPad 平板电脑

5. 家庭智能管理系统

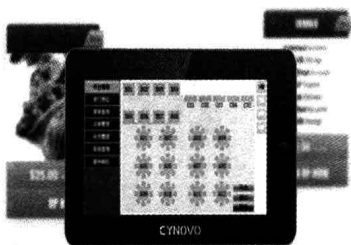


图 1.8 无线点菜器

该系统包括水、电、煤气表的远程自动抄表，安全防火、防盗系统等，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，如图 1.8 所示无线远程点菜器已经体现了嵌入式系统的优势。

6. 汽车电子和交通管理

在车辆控制和导航、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，其购买费用只需要几千元。图 1.9 所示为嵌入式系统应用于车辆控制系统。

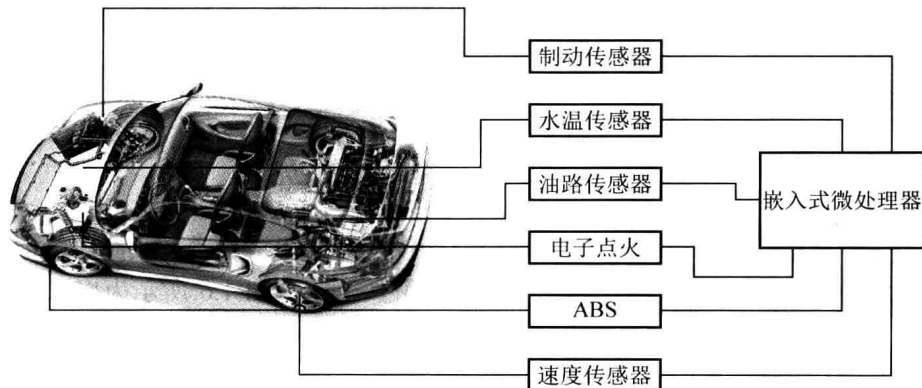


图 1.9 汽车的嵌入式系统控制



7. POS 网络及电子商务

公共交通无接触智能卡(Contactless Smartcard, CSC)发行系统、公共电话卡发行系统、自动售货机、各种智能 ATM 终端将全面走入人们的生活。

8. 环境工程与自然

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。在很多环境恶劣、地况复杂的地区, 嵌入式系统将实现无人监测。

9. 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。图 1.10 所示为智能机器人瓦力, 靠自身动力和控制能力就能完成特定的工作。



图 1.10 瓦力机器人

随着计算机技术和信息技术的不断发展, 嵌入式系统的应用范围将越来越广泛, 涉及人类生活的各个方面, 关系也将越来越紧密, 所以, 开发和探讨嵌入式系统有着十分重要的意义。

1.3 嵌入式系统体系结构

1.3.1 嵌入式系统硬件组成

图 1.11 所示为一个典型的嵌入式硬件系统组成, 以 32 位的 ARM 结构嵌入式微处理器为中心, 由存储器、I/O 设备、通信模块以及电源模块等必要的辅助接口组成。其中, 嵌入式微处理器为整个系统的核心, 决定了系统的功能和应用领域。外围设备则根据实际需求和成本进行裁剪和定制。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式硬件系统的核心是嵌入式微处理器, 嵌入式微处理器与普通计算机处理器的设计与原理是相似的。最大的不同在于嵌入式微处理器大多工作在为特定用户群所专用设计的系统中, 一方面只保留与实际应用相关的功能硬件, 去除其他冗余部分, 另一方面可以将许多由板卡完成的功能集成在芯片内部。因此, 嵌入式微处理器通常体积较小, 但具有很高的稳定性和可靠性, 功耗低, 对环境(温度、湿度、电磁干扰等)的适应能力强。

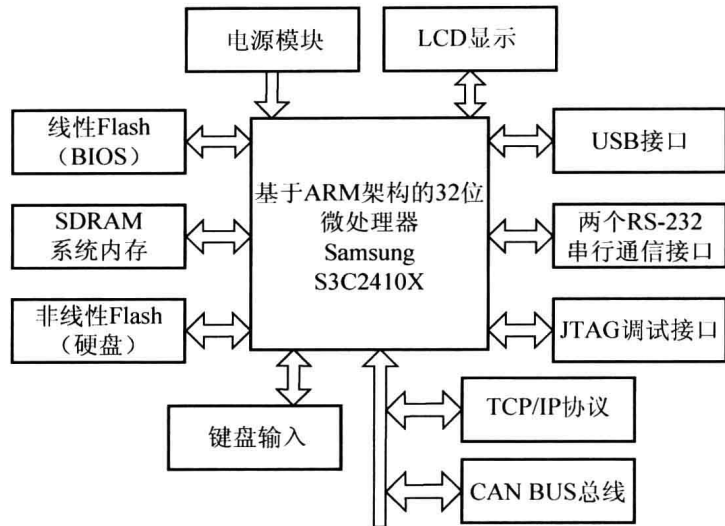


图 1.11 基于三星 S3C2410X 嵌入式微处理器的嵌入式硬件系统

在早期开发的嵌入式系统中，大多采用的是单处理器的架构，随着计算机技术和信息技术的快速发展，现在的嵌入式系统可能采用的是多处理器或多核处理器的硬件架构。例如，智能手机除了满足传统的语音通信的同时，还必须提供稳定和高质量的多媒体需求，传统的单处理器方案不能满足并行任务的处理要求。如苹果 iPhone 4S 智能手机除了采用双核的 A4 核心处理器，还配置有专门的图像处理器，以及通信协议处理器。

2. 存储系统

存储器是构成嵌入式系统的重要组成部分，用于存放系统运行的数据和程序。嵌入式系统的存储系统功能与通用计算机的存储系统功能并无明显的差异。不同的嵌入式系统需要根据实际应用的需求和成本，选择不同的存储技术和存储设备。在实际的嵌入式系统中，往往采用分级的方法来设计整个存储系统，例如，一个四级的存储系统，包含寄存器、高速缓存、内存和辅助存储器。存储级别越高，存取速度越快，而存储容量则越小。

寄存器是最高一级的存储器。在嵌入式系统中，寄存器组一般是微处理器内含的。有些待使用的数据或者运行的中间结果可以暂存在这些寄存器中。微处理器对芯片内的寄存器读写的速度很快，一般在一个时钟周期内完成。从总体上来说，设置一系列寄存器是为了尽可能减少微处理器直接从外部取数的次数，但是，由于寄存器组集成在芯片内部，受芯片面积和集成度的限制，寄存器的数量不可能做得很多。例如，ARM 微处理器一共有 37 个寄存器，其访问时间则一般为几纳秒。

第二级存储器是高速缓冲存储器(Cache)。Cache 是一种小型、快速的存储器。存放的是最近一段时间微处理器使用最多的程序代码和数据。在需要进行数据读取操作时，微处理器尽可能地从 Cache 中读取数据，而不是从内存中读取，这样就大大改善了系统的性能，提高了微处理器和内存之间的数据传输速率。Cache 的主要目标：减小存储器(如内存和辅助存储器)给微处理器内核造成的存储器访问瓶颈，使处理速度更快，实时性更强。

第三级是主存储器即内存。运行的程序和数据都存放在内存中。它可以位于微处理器