

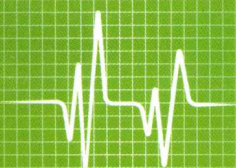


普通高等教育“十一五”国家级规划教材
嵌入式技术与应用丛书

32位嵌入式系统 与SoC设计导论

Introduction to Embedded Systems and SoC Design (第2版)

杨刚 肖宇彪 王鹏鹏 等编著



- 理论与实践兼备，基础概念与实际操作俱全，讲解由浅入深
- 富于实用性和启发性的进阶型精编实例
- 学苑互动，与众多名师分享嵌入式秘辛



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

■ 嵌入式技术与应用丛书 ■

32 位嵌入式系统 与 SoC 设计导论

(第 2 版)

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书在第1版的基础上,根据近年来32位嵌入式系统和SoC技术的发展,围绕嵌入式技术的各个环节进行了详细的介绍,主要讲解了嵌入式系统的概念及组成,并针对开发流程,实时操作系统概况及移植,处理器,开发调试方法,软件开发,嵌入式图形用户界面,SoC设计方法平台和工具等环节进行了由浅入深的介绍,给出了一个基于STM32处理器的开发实例,最后以MP4工程实践为例,阐述了嵌入式系统的开发流程。

本书编排新颖、图文并茂、通俗易懂,可作为高等院校相关专业高年级本科生和研究生的教学用书,也可供涉及嵌入式工作的技术人员、管理人员参考,尤其适合嵌入式技术的初学者使用。

本书配有教学课件,有需要的读者可以登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费注册后下载。

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。

图书在版编目(CIP)数据

32位嵌入式系统与SoC设计导论/杨刚等编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2011.1

(嵌入式技术与应用丛书)

ISBN 978-7-121-12331-3

I. ①3… II. ①杨… III. ①微型计算机—系统设计 IV. ①TP369.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第227002号

责任编辑:田宏峰 特约编辑:牛雪峰

印 刷:北京天宇星印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:480千字

印 次:2011年1月第1次印刷

印 数:4000册 定价:39.00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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

第 2 版前言

记得准备本书第 1 版的时候，写了下面的提纲，作为该书要回答读者的问题，也是期望达成的目标。

- 什么是嵌入式系统？
- 嵌入式系统可以做哪些事情？
- 嵌入式系统的开发需要什么条件？
- 如何开展嵌入式系统的开发？
- 怎样从新手成为嵌入式系统的行家？
- 嵌入式系统与单片机的差别？

本书第 1 版的出版得到了全国各地读者的热情反馈，通过本课程的学习与实践，读者能清楚理解嵌入式系统的基本概念，掌握嵌入式开发所涉及的硬件、软件、开发环境等要素，了解嵌入式产品的基本开发流程。本书是一本嵌入式学习入门的较好教材。

这几年来，作者在国家实验教学示范中心和国家电工电子教学基地嵌入式系统开发实验室，从事嵌入式的教学与科研实践，接触了上千名来自不同专业的本科生、研究生，因此对于初学者进入嵌入式门槛的问题非常关注。如何保护初学者的学习热情？如何让学生在嵌入式开发的里程中减少弯路？这些问题一直萦绕在我们的脑海里，我们把诸多思考和最新实践融入了这次改版当中。

本书第 1 版的成功，来自于其作为一本入门性、综合指导性的专著，浅显易懂地引领着广大嵌入式爱好者。与第 1 版相比，第 2 版在实践环节上有极大的增强，配合理论部分，方便读者将理论与实践相结合，完全可以满足嵌入式入门学习的要求，并且对书中部分内容进行了修改，对近年来嵌入式领域的新动向、新技术进行了介绍。

本书较之第一版做了如下几方面的改进：

● 新动向、新技术的介绍

近年来嵌入式技术有了飞速的发展，无论是硬件平台还是软件技术都产生了巨大的变化来迎接这个潮流，并且把它的触角深入到了我们生活的方方面面。为了帮助广大读者了解最新的知识，书中对大量陈旧知识进行了更新，介绍了许多嵌入式领域的最新技术，例如：多核技术和并行软件技术等。

● 由易到难的进阶型实验

增加了多个嵌入式学习中必学的实验，由浅入深地引导读者进行嵌入式开发。在实验的内容安排上，第 10 章的实验立足基础，讲解详细，通过一个入门级实验帮助读者了解嵌入式开发流程，并介绍了几个嵌入式学习中常用的实验，如 GPIO 口、中断、串口和 LCD 等来帮助读者一步步进入嵌入式开发的殿堂；在第 11 章中，保留了 MP4 工程的实验并进行了知识的更新，有助于读者进行较复杂的嵌入式工程开发。

● 高性能处理器和主流开发平台应用

本书实验是基于 ST 公司的 STM32 系列芯片，利用 EWARM 集成开发环境进行软件开发的。STM32 采用 ARM 公司的 Cortex M3 内核，是一款面向工业控制的 32 位处理器，具有强

大的处理能力和丰富的外围接口，和其他处理器相比拥有使用简单的特点，其应用广泛，相关资料非常全面并且易得，特别适合初学者使用。**EWARM** 集成开发环境是嵌入式开发中常用的开发平台，具有丰富的开发工具，书中对于 **EWARM** 开发平台的使用也进行了详细的介绍；

● 专业的嵌入式教学互动网站

为了推动国内 32 位嵌入式系统与 SoC 设计的发展，我们开设了“嵌牛-学苑”网站，<http://school.2embed.com>，学苑中有多门嵌入式领域基础性与前沿性课程帮助大家系统、深入地学习嵌入式系统，同时也为大家提供了一种全新的学习方式。希望能够集思广益，更好地与大家沟通。欢迎广大嵌入式系统的爱好者、教师和专家们的参与！

参与本书改版工作的有：杨刚、肖宇彪、王鹏鹏、李黎国、陈江、吕峰洁、叶关山、黄思宁，还有许多老师和同学以不同形式对本书作出了贡献，在此一并致谢！

另外，本书的一部分内容来源于互联网，由于不能一一列举，在此对其作者表示感谢！

本次配套的 ARM 系列开发板的核心芯片为 ST 公司的 STM32，并且拥有 ST 公司提供的丰富的资料，是初学者进入嵌入式殿堂最适用的利器——我们希望它像载唐三藏师徒进入仙境的无底船那样，载你进入激动人心的嵌入式开发领域，实现自己的人生梦想！感谢 ST（意法半导体）公司上海公司的梁平经理、MCU 市场部经理张军辉先生对本书的大力支持！

本次配套的集成开发环境为 IAR Embedded Workbench for ARM（简称 **EWARM**），来自全球领先的嵌入式系统开发工具和服务供应商——瑞典的 IAR 公司。感谢 IAR Systems 中国的叶涛先生、南京万利公司的刘强先生对本书的指导与支持！

愿我们一起努力，“嵌入”美好未来！

西安电子科技大学 杨 刚

2010 年 11 月

注：本书所设计的动画蜗牛图标已进行了商标注册。

第 1 版前言

现今“嵌入式”的概念似乎越来越热了，越来越多的大专院校学生感受到就业市场的需求风向，越来越多的公司、企业、研究所从业人员听说了它的广泛用途，都想要了解、掌握它，本书正是为这些读者而写的。关于“嵌入式”的书籍，市面上陆续推出了一些，一部分是写硬件的，一部分是写软件的，还有一部分则两者皆备，但大多数书籍的定位和着眼点是某一种嵌入式处理器的原理与应用，讲得比较细致、专业，适合于有一定嵌入式开发经验的工程师阅读。从教师的角度看，这类书虽然较多，但适合用做教材的不多。学生们作为初学者，普遍感到无所适从，云里雾里地去读，常有无从把握的感觉，书读完了还是不知道什么是“嵌入式”，与 DSP、EDA 有什么关系，等等。针对此需求，我们编写了这本《32 位嵌入式系统与 SoC 设计导论》。我们的教学实践表明，通过这门课的教学，使学生可以具备嵌入式系统与 SoC 设计的初步水平，也就是从“门外”进到“门里”。在此良好基础上，学生可以再进一步学习和熟练这方面的技能，从而可以在毕业之后立即参与到实际的开发项目之中。

嵌入式系统是门实践性很强的课程，限于条件，很多初学者很难参与实践环节。能够参与学校里的电子设计竞赛等的同学只是少部分，大多数学生的实践还是在正常教学所安排的实验课上和实验室里。我们在这门课程的教学、实验中力求体现这门实践性极强的新学科的成才规律，即理论结合实践，“在游泳中学会游泳”。最后详细地讲述一个嵌入式系统的开发实例，引导读者一步步进入嵌入式系统开发的殿堂。

全书共 10 章，各章节的内容安排如下：

第 1 章介绍嵌入式系统的基本概念，嵌入式系统的分类、特点和组成架构，以及嵌入式系统的发展现状和趋势。

第 2 章介绍嵌入式系统的开发流程，包括需求分析阶段、设计阶段、实现阶段以及测试阶段。

第 3 章介绍嵌入式实时操作系统的概念及相关知识，包括嵌入式实时操作系统的分类、特点，并对几种典型操作系统的性能进行比较，从而了解如何选择嵌入式操作系统的相关知识。

第 4 章介绍嵌入式处理器的分类、特点以及目前市场上几种典型的嵌入式处理器。

第 5 章介绍嵌入式系统的各种调试方法，包括硬件工具、软件工具以及各种典型的调试协议。

第 6 章主要介绍嵌入式系统软件开发的特点，以及设计开发中的一些经验总结。

第 7 章详细介绍嵌入式系统开发中的难点——嵌入式操作系统的移植，书中选择了两种典型源码开放的嵌入式操作系统 Linux 和 μ C/OS II。

第 8 章介绍作为计算机与用户之间接口的嵌入式 GUI 的一些基本概念，以及典型嵌入式 GUI 的开发方法。

第 9 章介绍作为嵌入式系统最高发展形式——SoC 产生的背景、发展和挑战，IP 核复用的概念，SoC 的验证与测试以及 SoC 几种常用总线的架构。

第 10 章详细介绍一个典型的嵌入式系统开发工程实例——MP4 工程实践流程。通过对本章的学习，读者对嵌入式系统的开发能有个感性的认识。

最后总结一下本书的几个特色:

(1) 高的起点

32 位处理器的应用正在兴起。与 8 位处理器相比,使用 32 位处理器从技术上占有优势,而成本上相差不大,尤其有利于智能产品的设计;从人才培养的角度来看,国内掌握低端 8 位单片机应用技术的人才较多,而真正了解高端 32 位嵌入式系统开发技术的人才奇缺。

(2) 精心设计的实验

通过本书最后的嵌入式系统开发实例,我们把嵌入式系统设计的基本概念与嵌入式开发的流程、32 位嵌入式 RISC 处理器常用模块的使用等有机结合起来,让读者对前面学习的理论进行一次升华,体会知识进步与能力成长的感觉,保持学习的兴趣。

(3) 经过国家级教学基地的多次教学验证

作为两个国家级基地(国家电工电子教学基地、国家集成电路设计人才培养基地)的一门课程,同名课程已经面向全校本科生、研究生开设多期,教学效果良好。此外,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”进一步丰富了大学生电子设计竞赛的形式和内容,本教材的编写也是对全国大学生嵌入式系统竞赛、“星火杯”等活动的支持。

(4) 简明的“脑图”结构

本书每一章的前面都有树状结构的“脑图”,提示本章的主要内容;同样地,在每章的各小节中,可以看到更详细的有关该小节内容的“脑图”,通过这种层层分解的结构以及“脑图”的形式,可以使读者迅速了解所读章节在全书中的位置、与其他章节的关系,从而把握学习进度和重点。

(5) “嵌牛”伴你轻松阅读

读者还会发现本书还有个表情丰富的可爱“蜗牛”,嵌入在本书的各个角落,把蜗牛的壳比做嵌入式系统的硬件(Hardware),蜗牛的躯体比做软件(Software),寓意在于嵌入式系统的软硬件结合,嵌入到我们生活中的每个角落。

本书在编写过程中得到了很多人的帮助,没有他们也就没有这本书的出版,谨此表示感谢!

参与编写的研究生有:肖宇彪、陈江、吕峰洁、叶关山、黄思宁,他们曾经与大家一样都是嵌入式系统设计的“门外汉”,他们在学习中记录了自己由不懂到初窥门径的历程,书中部分内容是他们在多次亲身体会后的总结,相信会对读者有所帮助。还有多位研究生和本科生参加了本书的资料收集与整理工作,付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢!

参与本书编写的三位嵌入式高级工程师是:蒋斌、夏钢、徐征,他们都是国内 32 位嵌入式系统与 SoC 设计的资深专家,不仅具有博士、硕士学历,更有多年从事嵌入式设计与开发的宝贵实践经验,正是他们的参与,保证了本书的技术先进性和正确性。在此,对于苏州国芯公司给予的支持表示衷心的感谢!

另外,本书的一部分内容来源于互联网,由于不能一一列举,在此对其作者表示感谢!

由于嵌入式系统涉及的知识面比较宽,作者在嵌入式系统开发方面所做的工作并不能包括所有方面,对嵌入式系统开发的理解也不免出现一定的偏差,有些深入的问题还有待进一步探讨,所以恳请读者能够针对书中的不足给予指正,联系地址是:gyangxidian@gmail.com,希望大家多提宝贵意见,愿我们一起努力,共同参与、分享、收获!

杨 刚

2005 年 11 月于西安电子科技大学

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础	1
1.1 嵌入式系统的定义	2
1.2 嵌入式系统的分类	3
1.3 嵌入式系统的特点	5
1.4 嵌入式系统的组成架构	6
1.5 32 位嵌入式处理器	9
1.6 嵌入式操作系统的使用	11
1.7 嵌入式系统开发	12
1.8 嵌入式系统应用	14
1.9 嵌入式系统的发展现状及趋势	15
1.10 学习嵌入式系统的意义	18
本章小结	19
思考题	19
第 2 章 嵌入式系统设计开发流程	20
2.1 嵌入式系统的一般开发流程	21
2.2 需求分析阶段	21
2.3 设计阶段	22
2.3.1 硬件的选择	23
2.3.2 软件的选择	25
2.3.3 开发工具的选择	27
2.3.4 软件组件的选择	29
2.4 实现阶段	29
2.4.1 嵌入式软件开发的特点	29
2.4.2 软件开发平台	31
2.4.3 软件开发过程	32
2.5 测试阶段	33
本章小结	35
思考题	35
第 3 章 嵌入式实时操作系统	36
3.1 操作系统	37
3.1.1 基本概念及功能	37
3.1.2 发展史	38
3.1.3 分类	39
3.2 实时操作系统	40
3.2.1 实时操作系统的概念	40

3.2.2	RTOS 的发展历史	41
3.2.3	RTOS 的特点	43
3.2.4	RTOS 的分类	44
3.2.5	RTOS 的性能分析	47
3.3	主流的嵌入式实时操作系统	48
3.4	典型的实时操作系统	50
3.4.1	Linux	50
3.4.2	μ C/OS II	52
3.4.3	Windows CE	54
3.4.4	VxWorks	56
3.5	如何选择合适的嵌入式操作系统	57
3.6	嵌入式实时操作系统的分析比较	58
3.6.1	μ C/OS 和 μ CLinux 操作系统的比较	58
3.6.2	其他实时操作系统的比较	60
3.7	嵌入式实时操作系统的发展前景	62
	本章小结	63
	思考题	63
第 4 章	嵌入式处理器	64
4.1	重要概念	65
4.1.1	冯·诺依曼结构和哈佛结构	65
4.1.2	流水线技术	65
4.1.3	CISC 和 RISC	66
4.1.4	多核技术	66
4.2	嵌入式处理器的分类	68
4.2.1	嵌入式微控制器 (MCU)	68
4.2.2	嵌入式微处理器 (EMPU)	69
4.2.3	嵌入式 DSP (EDSP)	69
4.2.4	嵌入式片上系统 (SoC)	70
4.2.5	嵌入式处理器的变迁	70
4.3	各公司嵌入式处理器	71
4.3.1	ARM 处理器系列	71
4.3.2	Freescall PowerPC	74
4.3.3	i.MX 处理器	74
4.3.4	Intel Atom (凌动) 处理器	75
4.3.5	TI OMAP 芯片	76
4.3.6	SamSung 的常用芯片	77
4.3.7	Philips (NXP) 的微处理器	77
4.3.8	龙芯的处理器	78
4.3.9	国芯的 32 位 RISC CPU	79
4.4	嵌入式处理器的选择	79

4.5	32 位嵌入式处理器的发展趋势	80
4.5.1	ARM 技术的发展趋势	80
4.5.2	32 位逐渐成为主流	82
4.5.3	32 位市场格局	83
	本章小结	83
	思考题	83
第 5 章	开发调试方法	84
5.1	简单设备的调试	85
5.1.1	串行口	85
5.1.2	发光二极管	86
5.1.3	示波器	86
5.2	Monitor 方式	87
5.3	BDM、JTAG、Nexus	88
5.3.1	背景调试模式 (BDM)	88
5.3.2	联合测试行动组 (JTAG)	89
5.3.3	Nexus	91
5.4	ROM 仿真器	92
5.5	实时在线仿真系统 ICE	92
5.6	使用 GDB 调试嵌入式系统	94
5.6.1	GDB 使用前的准备工作	94
5.6.2	基本的 GDB 命令	96
5.6.3	GDB 应用举例	97
5.7	嵌入式系统软件调试技术的发展趋势	101
	本章小结	103
	思考题	103
第 6 章	嵌入式软件开发	104
6.1	嵌入式系统软件开发	105
6.1.1	嵌入式系统软件开发的特点	105
6.1.2	嵌入式编程简介及编写稳定可靠软件的建议	107
6.1.3	嵌入式高级编程语言	108
6.1.4	嵌入式高级编程语言的发展趋势及选择	109
6.2	基于嵌入式的 C 语言编程	110
6.2.1	开发入门	110
6.2.2	语言风格	111
6.2.3	预处理	112
6.2.4	系统引导与 main 函数	112
6.2.5	变量定义	113
6.2.6	软件开发流程	115
6.2.7	软件项目组织与管理	116
6.2.8	模块化的 C 语言编程	116

6.2.9 汇编与 C 语言程序的混合编程	119
6.2.10 嵌入式 C 语言程序的优化	120
6.2.11 嵌入式 C 语言编程经验	126
本章小结	130
思考题	130
第 7 章 操作系统的移植	131
7.1 嵌入式应用中使用 RTOS 的必要性	132
7.2 操作系统移植的概念及意义	133
7.2.1 移植的概念和目的	133
7.2.2 嵌入式操作系统的移植分析	133
7.3 μ C/OS II 的移植	134
7.3.1 μ C/OS II 概述	135
7.3.2 移植条件	135
7.3.3 工具和运行环境	136
7.3.4 移植的过程	136
7.3.5 移植中的问题	140
7.3.6 μ C/OS II 的不足之处	142
7.3.7 μ C/OS II 下的驱动程序特点	142
7.4 Linux 的移植	142
7.4.1 移植过程	145
7.4.2 启动代码 (Bootloader) 的移植	145
7.4.3 Linux 内核的移植、重编译	147
7.4.4 移植 Linux 的关键问题	152
7.4.5 库的选择	156
本章小结	156
思考题	157
第 8 章 嵌入式图形用户界面	158
8.1 嵌入式 GUI 概述	159
8.1.1 什么是嵌入式 GUI	159
8.1.2 嵌入式 GUI 的发展历史	159
8.1.3 嵌入式 GUI 的发展趋势	161
8.2 嵌入式系统 GUI	162
8.2.1 GUI 与嵌入式系统	162
8.2.2 嵌入式 GUI 的特点及地位	164
8.2.3 当今典型的嵌入式 GUI 系统	165
8.2.4 几种 GUI 系统的综合对比	171
8.2.5 MiniGUI 的技术优势	172
8.2.6 MiniGUI 的应用实例	173
8.2.7 为什么要自主开发新的 GUI 系统	175
8.3 嵌入式 GUI 的设计	176
8.3.1 硬件设计	177

8.3.2 驱动程序的设计	178
8.3.3 用户界面的设计	178
8.3.4 MicroWindows 的体系结构	181
本章小结	185
思考题	185
第 9 章 SoC 设计方法、平台、工具	186
9.1 SoC 简介	187
9.1.1 SoC 产生的背景	187
9.1.2 系统级芯片 SoC	187
9.1.3 IP 与 IP 核	189
9.1.4 SoC 与 IP 产业	190
9.2 SoC 的设计方法学	192
9.2.1 软硬件协同设计	192
9.2.2 IP 核的生成和复用	194
9.2.3 超深亚微米设计	196
9.3 SoC 的设计平台、工具以及基于平台的设计	198
9.3.1 SoC 的设计平台和工具	198
9.3.2 基于平台的 SoC 设计	199
9.4 SoC 的验证与测试	200
9.4.1 SoC 的验证	201
9.4.2 SoC 的测试	203
9.5 SoC 的总线架构	206
9.5.1 CoreConnect 总线	207
9.5.2 AMBA 总线	207
9.5.3 Wishbone 总线	209
9.5.4 Avalon 总线	209
9.6 SoC 发展遇到的挑战	210
9.6.1 SoC 设计方法学的核心技术	210
9.6.2 设计工具带来的问题	212
9.6.3 资金问题	213
9.7 SoC 的发展趋势	214
9.7.1 SoPC 的出现	214
9.7.2 SoC 发展的市场前景	214
本章小结	216
思考题	216
第 10 章 STM32 系列控制器理论及实践	217
10.1 ARM Corte-M3 微控制器及 STM32 实验箱概述	218
10.1.1 ARM Corte-M3 处理器概述	218
10.1.2 STM32 实验箱规格介绍	220
10.2 基于 STM32 的编程基础	222

10.2.1	ST 公司为 STM32 提供的源程序	222
10.2.2	主要程序的编写方法	223
10.2.3	其他 ST 库程序功能介绍	226
10.2.4	编写 STM32 应用程序总结	227
10.3	嵌入式实验环境及入门实验	228
10.4	通用输入/输出端口实验 (GPIO)	232
10.5	嵌套向量中断控制器 (NVIC)	238
10.6	通用串行同步异步收发器 (USART)	246
10.7	LCD 液晶显示器	251
	本章小结	262
	思考题	263
第 11 章	MP4 工程实践	264
11.1	MP4 概述	265
11.2	流行的 MP4 解决方案对比	266
11.3	MP4 的设计	269
11.3.1	功能要求	269
11.3.2	硬件平台	270
11.3.3	软件平台	273
11.4	MP4 实现流程	274
11.4.1	程序总体框架	274
11.4.2	软件界面设计及控件的使用	275
11.4.3	视频播放功能的实现	275
11.4.4	音频播放功能的实现	281
11.4.5	录音功能的实现	282
11.4.6	其他功能的实现	286
	本章小结	287
	思考题	287
	参考文献	288

嵌入式系统基础

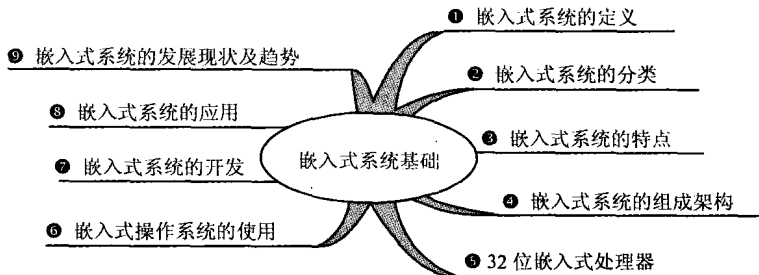


前言

嵌入式系统 (Embedded System) 是继 IT 网络技术之后的另外一个大有前途的技术发展方向, 现已成为后 PC 时代最热门的研究领域之一。我们在从零开始学习嵌入式系统时, 最先遇到的一个问题就是该从何入手、怎么入门? 本章作为嵌入式系统学习旅程的第一站, 将本着“搭框架”的原则, 从大家比较熟悉的知识入手, 对嵌入式系统的部分基本概念进行简单的介绍。



本章提示



学海聆听

Be unhurried to do a thing, but once you start, you should stand out a crisis.

要从容地着手去做一件事, 但一旦开始, 就要坚持到底。

——比阿斯

1.1 嵌入式系统的定义

要精确地定义嵌入式系统并非易事,嵌入式系统可以看做与台式机不同的另一种计算机系统。一个嵌入式系统通常只能重复执行一个特定的功能,而台式机系统可以执行各种程序,如电子数据表、字处理和游戏,还可以加入其他新程序。当然也有例外:嵌入式系统中的程序也可以被新版本程序更新,例如,有些手机(移动电话,见图 1-1)就是这样更新的;另一种情况是由于系统大小的限制,使得几个程序只能轮流输入系统中,例如,有些导弹(见图 1-2)在巡航模式下执行一个程序,在锁定目标时执行另一个程序。即使如此,这些嵌入式系统仍只具有特定的功能。

嵌入式系统(Embedded System)的全称是嵌入式计算机系统(Embedded Computer System),通常意义上的嵌入式系统是指以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应应用系统对功能、实时性、可靠性、成本、体积、功耗等严格约束的专用计算机系统。由于嵌入式系统大部分是实时系统(Real-Time System),随着应用环境的不同,实时性有强、弱之分,因此也被称为嵌入式实时系统(Embedded Real-Time System)。

嵌入式系统一般由嵌入式微处理器(主要由 16 位及 16 位以上的 MPU、MCU 和 DSP 组成)等硬件及软件(包括 RTOS 和实时应用程序)组成,具有专用性、可嵌入性、实时性、可靠性、移动性、分布式等特点。它通常以 SoC(嵌入式片上系统, System on Chip)、单片机、多板式箱体结构、嵌入式 PC 等形式嵌入到各式各样的设备或大系统中,如数字移动电话、路由器(见图 1-3)、导弹、数码相机(见图 1-4)。嵌入式系统的运行需要一个实时操作系统(RTOS)的支持,这是它不同于过去许多单片机应用的关键之处。因此,嵌入式系统是将先进的计算机技术、微电子技术和现代电子系统技术与各个行业的具体应用相结合的产物,这一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。

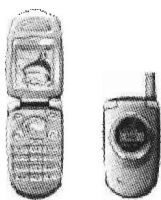


图 1-1 移动电话

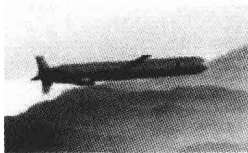


图 1-2 导弹

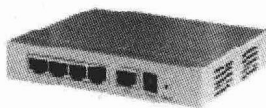


图 1-3 路由器



图 1-4 数码相机

嵌入式系统广泛应用于控制或数据处理设备中,其基本结构如图 1-5 所示。与通用的计算机相比,主要不同之处在以下几个方面:

- 依据应用而设计;
- 程序可移植;
- 数据类型已知;
- 遵循实时原则;
- 遵循稳妥原则;
- 对成本极其敏感;
- 对应用环境要求苛刻;
- 生存期依赖于主机系统;
- 通常维护受限,不可修改。

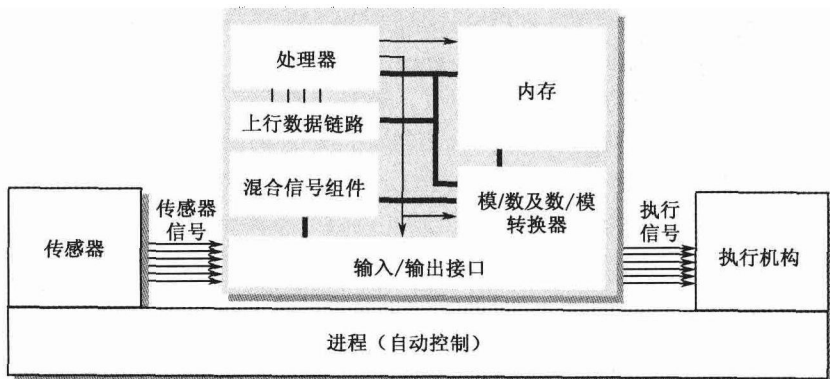
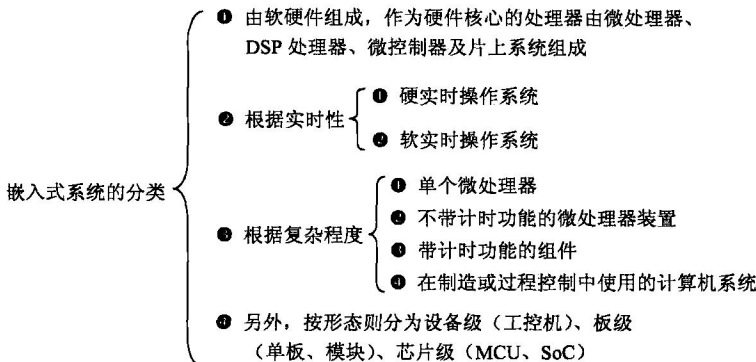


图 1-5 嵌入式系统的基本结构

1.2 嵌入式系统的分类



1. 嵌入式处理器的分类

由于嵌入式系统是由软硬件组成的，所以可按硬件和软件进行分类。在硬件中，嵌入式处理器是最核心的部分，主要有以下四类。

(1) 嵌入式微处理器（Micro Processor Unit, MPU）

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中，将微处理器装配在专门设计的电路板上，只保留和嵌入式应用有关的母板功能，这样可以大幅度减小系统的体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求，嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的，但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了进一步的增强。

(2) 嵌入式 DSP 处理器（Digital Signal Processor, DSP）

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计，使其适合于执行 DSP 算法，编译效率较高，指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面，DSP 算法正在大量进入嵌入式领域，DSP 应用正在从通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源：一是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器，如 TI 的 TMS320C2000/C5000 等属于此范畴；二是在通用单片机或 SoC 中增加 DSP 协处理器，如 Intel 的 MCS-296 和 Infineon (Siemens) 的 TriCore。随着集成度的增加和多核技术的发展，出现了不同内核集于一身的超强功能芯片，例如，TMS320DM6446（简称为 DM6446）双核处理器，该芯片包括 1 个 ARM 子系统、1 个 DSP

子系统和 1 个视频处理子系统 (Video Processing Subsystem, VPSS)。

(3) 嵌入式微控制器 (Micro Controller Unit, MCU)

嵌入式微控制器又称为单片机, 顾名思义, 就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心, 芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设。和嵌入式微处理器相比, 微控制器的最大特点是单片化, 体积大大减小, 从而使功耗和成本下降、可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富, 适合用于控制领域, 因此称为微控制器。

(4) 嵌入式片上系统 (System on Chip, SoC)

用户只需定义整个应用系统, 仿真通过后将设计图交给半导体工厂制作样品。这样除了个别无法集成的器件外, 整个嵌入式系统均可集成到一块或几块芯片中, 应用系统电路板将变得很简捷, 这对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。

SoC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Infineon 的 TriCore、Motorola 的 M*Core、某些 ARM 系列器件、Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般专用于某个或某类系统中, 不为一般用户所知。一个有代表性的产品是 Philips 的 Smart XA, 它将 XA 单片机内核和支持超过 2 048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上, 形成一个可加载 Java 或 C 语言的专用 SoC, 可用于公众互联网 (如 Internet 安全) 方面。

2. 嵌入式操作系统的分类

在软件中, 操作系统是最核心的部分, 由于嵌入式操作系统大多是实时操作系统, 根据操作系统的实时性, 可以分为以下两类。

(1) 硬实时操作系统

实时操作系统是目前嵌入式系统最主要的组成部分。根据操作系统的工作特性, 实时是指物理进程的真实时间。硬实时操作系统是指系统有一刚性的时间限制, 若在此之前任务得不到执行, 系统将产生严重的后果。典型的硬实时操作系统有美国风河 (WindRiver) 公司的 VxWorks, 主要应用于航空航天、武器装备以及实时性要求较高的通信设备中。

(2) 软实时操作系统

软实时操作系统是相对于硬实时操作系统而言的, 指任务执行的时间具有柔性和弹性, 典型的如微软的 Windows CE 操作系统, 当我们执行某个较大的应用程序时, 通常我们需要等待数秒, 这时系统并不产生严重后果, 是可以接受的。时间上的错误不会造成灾难性的后果。

3. 按复杂程度分类

根据嵌入式系统实现的复杂程度不同, 嵌入式系统可分为以下四类。

(1) 单个微处理器

这类系统应用在小型设备, 如温度传感器 (见图 1-6)、烟雾和气体探测器及断路器 (见图 1-7) 中, 是由供应商根据设备的用途进行设计的。

(2) 不带计时功能的微处理器装置

这类系统应用在过程控制、信号放大器、位置传感器 (见图 1-8) 及阀门传动器中。

(3) 带计时功能的组件

这类系统应用在开关装置、控制器、电话交换机、电梯、数据采集系统、医药监视系统、诊断及实时控制系统中。它们是一个大系统的局部组件, 由传感器收集数据并传递给该系统。