

嵌入式技术与应用丛书

EMBEDDED
SYSTEM

32位嵌入式系统 与SoC设计导论

杨刚 肖宇彪 陈江 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

| 嵌入式技术与应用丛书 |

32 位嵌入式系统与 SoC 设计导论

杨 刚 肖宇彪 陈江 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书详细介绍了嵌入式系统的基本概念和开发流程,当前流行的 32 位嵌入式处理器和嵌入式操作系统的总体框架,嵌入式系统的软件开发和操作系统(Linux 和 μ C/OS II)的移植,几种典型的嵌入式图形用户界面(GUI)的开发,以及嵌入式的最高发展形式——片上系统(SoC)的一些基本概念。最后以 MP4 的实现作为一个嵌入式系统开发实例,使读者对嵌入式系统的开发有个整体的感性认识。

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选用。

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, 肖宇彪, 陈江等编著. —北京: 电子工业出版社, 2006.4
(嵌入式技术与应用丛书)

ISBN 7-121-01316-9

I. 3… II. ①杨… ②肖… ③陈… III. 微型计算机—系统设计 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004199 号

责任编辑: 高买花 特约编辑: 陈宁辉

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 字数: 454 千字

印 次: 2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

嵌入式技术是 21 世纪最具生命力的新技术之一，经过近几年的快速发展，已经成为电子信息产业中最具增长力的一个分支。随着手机、掌上电脑、GPS、机顶盒等新兴产品的大量应用，嵌入式系统的设计正成为软硬件工程师越来越关心的话题。面对不断涌现的技术需求和发展机遇，各大嵌入式系统开发商、各科研院所的研发人员都急需一套全方位、针对性强，且具有实际指导意义的嵌入式技术类书籍；各高等院校相关专业的本科生、研究生也迫切希望了解、掌握嵌入式系统的开发技巧，以推动嵌入式技术在各领域的广泛应用和快速发展。

《嵌入式技术与应用丛书》正是针对当前技术与市场需求，由国内站在 IT 业前沿并有实践开发经验的嵌入式系统专家，以实用技术为主线，理论联系实际，将他们在理论研究与实践工作中积累的大量经验和体会有机地融于一体，以丛书的形式奉献给广大读者！

该套丛书由基础理论类、硬件设计类、软件开发类、综合应用类书籍组成，立足当前嵌入式技术的核心技术、发展趋势及其主要应用领域，将技术热点与实践应用紧密结合，以实际应用为主线，融合关键性嵌入式设计技术，围绕嵌入式设计理论、开发流程、嵌入式软件验证及测试、代码可重构以及代码优化等方面进行深入浅出的讲解和论述。

读者群定位于高等院校相关领域的高年级学生，科研、开发人员，嵌入式相关领域设计人员等，可作为嵌入式领域学习、开发人员的参考资料，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本套丛书的出版得到了业界许多专家、学者的鼎力相助，对此表示衷心的感谢！同时，热切欢迎广大读者提出宝贵意见，或者推荐更多优秀选题（gmholife@hotmail.com），共同为嵌入式技术的发展添砖加瓦！

电子工业出版社

2006 年 1 月

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 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 。

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：gyangde@yahoo.com.cn 或 gmholife@hotmail.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	(6)
1.4 嵌入式系统的组成架构	(7)
1.5 32 位嵌入式处理器	(11)
1.6 嵌入式操作系统的使用	(13)
1.7 嵌入式系统开发	(14)
1.8 嵌入式系统应用	(15)
1.9 嵌入式系统的发展现状及趋势	(17)
1.10 学习嵌入式系统的意义	(20)
本章小结	(21)
第 2 章 嵌入式系统设计开发流程	(22)
2.1 嵌入式系统的一般开发流程	(23)
2.2 需求分析阶段	(24)
2.3 设计阶段	(25)
2.3.1 硬件的选择	(25)
2.3.2 软件的选择	(28)
2.3.3 开发工具的选择	(31)
2.3.4 软件组件的选择	(32)
2.4 实现阶段	(32)
2.4.1 嵌入式软件开发的特点	(33)
2.4.2 软件开发平台	(34)
2.4.3 软件开发过程	(36)
2.5 测试阶段	(37)
本章小结	(39)
第 3 章 嵌入式实时操作系统	(40)
3.1 操作系统	(41)
3.1.1 基本概念及功能	(41)
3.1.2 发展史	(42)
3.1.3 分类	(43)
3.2 实时操作系统	(44)

3.2.1	实时操作系统的概念	(44)
3.2.2	RTOS 的发展历史	(45)
3.2.3	RTOS 的特点	(47)
3.2.4	RTOS 的分类	(49)
3.2.5	RTOS 的性能分析	(52)
3.3	主流的嵌入式实时操作系统	(54)
3.4	典型的实时操作系统	(55)
3.4.1	Linux	(55)
3.4.2	μC/OS II	(57)
3.4.3	Windows CE	(60)
3.4.4	VxWorks	(62)
3.5	如何选择合适的嵌入式操作系统	(63)
3.6	嵌入式实时操作系统的分析比较	(65)
3.6.1	μC/OS 和μCLinux 操作系统比较	(65)
3.6.2	其他实时操作系统的比较	(67)
3.7	嵌入式实时操作系统的发展前景	(68)
	本章小结	(70)

第 4 章 嵌入式处理器 (71)

4.1	重要概念	(72)
4.1.1	冯·诺依曼结构和哈佛结构	(72)
4.1.2	流水线技术	(72)
4.1.3	CISC 和 RISC	(73)
4.2	嵌入式处理器的分类	(75)
4.2.1	嵌入式微控制器 (MCU)	(75)
4.2.2	嵌入式微处理器 (EMPU)	(76)
4.2.3	嵌入式 DSP (EDSP)	(76)
4.2.4	嵌入式片上系统 (SoC)	(76)
4.2.5	嵌入式处理器的变迁	(77)
4.3	各公司嵌入式处理器	(78)
4.3.1	ARM 处理器系列	(78)
4.3.2	Motorola PowerPC	(81)
4.3.3	i.MX 处理器	(82)
4.3.4	Intel xScale	(83)
4.3.5	TI	(84)
4.3.6	SamSung	(85)
4.3.7	Philips	(85)
4.3.8	龙芯	(86)

4.3.9 国芯.....	(87)
4.4 嵌入式处理器的选择.....	(88)
4.5 32 位嵌入式处理器的发展趋势.....	(88)
4.5.1 ARM 技术发展趋势.....	(88)
4.5.2 32 位在兴起.....	(91)
4.5.3 32 位市场格局.....	(91)
本章小结.....	(92)
第 5 章 开发调试方法	(93)
5.1 J 单设备的调试.....	(94)
5.1.1 串行口.....	(94)
5.1.2 发光二极管.....	(95)
5.1.3 示波器.....	(96)
5.2 Monitor 方式.....	(96)
5.3 BDM JTAG Nexus.....	(97)
5.3.1 背景调试模式 (BDM)	(98)
5.3.2 联合测试行动组 (JTAG)	(99)
5.3.3 Nexus.....	(100)
5.4 ROM 仿真器.....	(101)
5.5 实时在线仿真系统 ICE	(102)
5.6 使用 GDB 调试嵌入式系统	(104)
5.6.1 GDB 使用前的准备工作.....	(105)
5.6.2 基本的 GDB 命令.....	(106)
5.6.3 GDB 应用举例	(108)
5.7 嵌入式系统软件调试技术的发展趋势.....	(112)
本章小结.....	(115)
第 6 章 嵌入式软件开发	(116)
6.1 嵌入式系统软件开发.....	(117)
6.1.1 嵌入式系统软件开发的特点	(117)
6.1.2 嵌入式编程简介.....	(119)
6.1.3 嵌入式高级编程语言	(120)
6.1.4 嵌入式高级编程语言的发展趋势及选择	(121)
6.2 基于嵌入式的 C 语言编程	(122)
6.2.1 开发入门.....	(122)
6.2.2 语言风格.....	(124)
6.2.3 预处理.....	(124)
6.2.4 系统引导与 main 函数.....	(125)

6.2.5	变量定义	(125)
6.2.6	软件开发流程	(127)
6.2.7	软件项目组织与管理	(128)
6.2.8	模块化的 C 编程	(129)
6.2.9	汇编与 C 程序的混合编程	(132)
6.2.10	嵌入式 C 程序的优化	(133)
6.2.11	嵌入式 C 语言编程经验	(140)
本章小结		(145)
第 7 章 操作系统的移植		(146)
7.1	嵌入式应用中使用 RTOS 的必要性	(147)
7.2	操作系统移植的概念及意义	(148)
7.2.1	移植的概念和目的	(148)
7.2.2	嵌入式操作系统的移植分析	(149)
7.3	μC/OS II 的移植	(150)
7.3.1	μC/OS II 概述	(150)
7.3.2	移植条件	(151)
7.3.3	工具和运行环境	(152)
7.3.4	移植的过程	(152)
7.3.5	移植中的问题	(156)
7.3.6	μC/OS II 的不足之处	(158)
7.3.7	μC/OS II 下的驱动程序特点	(158)
7.4	Linux 的移植	(158)
7.4.1	移植过程	(161)
7.4.2	启动代码 (Bootloader) 的移植	(162)
7.4.3	Linux 内核的移植、重编译	(164)
7.4.4	移植 Linux 的关键问题	(169)
7.4.5	库的选择	(174)
本章小结		(174)
第 8 章 嵌入式图形用户界面		(175)
8.1	嵌入式 GUI 概述	(176)
8.1.1	什么是嵌入式 GUI	(176)
8.1.2	嵌入式 GUI 的发展历史	(176)
8.1.3	嵌入式 GUI 的发展趋势	(179)
8.2	嵌入式系统 GUI	(181)
8.2.1	GUI 与嵌入式系统	(181)
8.2.2	嵌入式 GUI 的特点及地位	(183)

8.2.3	当今典型的嵌入式 GUI 系统	(184)
8.2.4	几种 GUI 系统的综合对比	(190)
8.2.5	MiniGUI 的技术优势	(191)
8.2.6	MiniGUI 的应用实例	(193)
8.2.7	为什么要自主开发新的 GUI 系统	(195)
8.3	嵌入式 GUI 的设计	(195)
8.3.1	硬件设计	(196)
8.3.2	驱动程序的设计	(198)
8.3.3	用户界面的设计	(198)
8.3.4	MicroWindows 的体系结构	(202)
	本章小结	(206)
第 9 章	SoC 设计方法、平台、工具	(207)
9.1	SoC 简介	(208)
9.1.1	SoC 产生的背景	(208)
9.1.2	系统级芯片 SoC	(209)
9.1.3	IP 与 IP 核	(210)
9.1.4	SoC 与 IP 产业	(212)
9.2	SoC 的设计方法学	(214)
9.2.1	软硬件协同设计	(215)
9.2.2	IP 核生成和复用	(216)
9.2.3	超深亚微米设计	(219)
9.3	SoC 的设计平台、工具以及基于平台的设计	(221)
9.3.1	SoC 的设计平台和工具	(221)
9.3.2	基于平台的 SoC 设计	(222)
9.4	SoC 的验证与测试	(223)
9.4.1	SoC 的验证	(224)
9.4.2	SoC 的测试	(225)
9.5	SoC 的总线架构	(228)
9.5.1	CoreConnect 总线	(229)
9.5.2	AMBA 总线	(230)
9.5.3	Wishbone 总线	(231)
9.5.4	Avalon 总线	(232)
9.6	SoC 发展遇到的挑战	(233)
9.6.1	SoC 设计方法学的核心技术	(233)
9.6.2	设计工具带来的问题	(235)
9.6.3	资金问题	(236)
9.7	SoC 的发展趋势	(237)

9.7.1 SoPC 的出现	(237)
9.7.2 SoC 发展的市场前景	(237)
本章小结	(239)
第 10 章 MP4 工程实践	(240)
10.1 MP4 概述	(241)
10.2 流行的 MP4 解决方案对比	(243)
10.3 MP4 的设计	(245)
10.3.1 功能要求	(245)
10.3.2 硬件平台	(246)
10.3.3 软件平台	(250)
10.4 MP4 实现流程	(252)
10.4.1 程序总体框架	(252)
10.4.2 软件界面设计及控件的使用	(252)
10.4.3 视频播放功能的实现	(252)
10.4.4 音频播放功能的实现	(260)
10.4.5 录音功能的实现	(260)
10.4.6 其他功能的实现	(265)
本章小结	(266)
参考文献	(267)

第 1 章 嵌入式系统基础

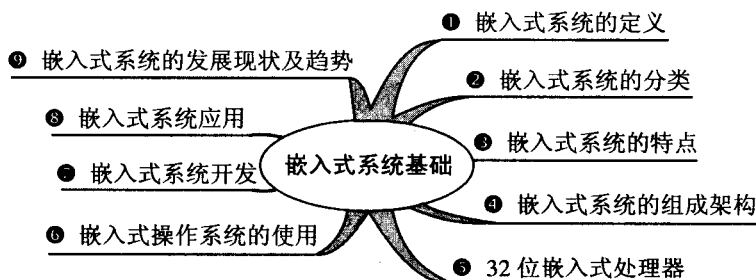


前言

嵌入式系统（Embedded System）是继 IT 网络技术之后，又一个大有前途的技术发展方向，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，而台式系统可以执行各种程序，如电子数据表、字处理和游戏，还经常加入其他新程序。当然也有例外：嵌入式系统中的程序被新版本程序更新，例如，有些手机（移动电话，如图 1-1 所示）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（如图 1-2 所示）在巡航模式下执行一个程序，在锁定目标时又执行另一个程序。即使如此，这些嵌入式系统仍只具有特定功能。

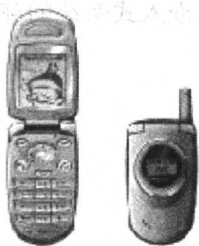


图 1-1 移动电话



图 1-2 导弹

嵌入式系统（Embedded System），全称为嵌入式计算机系统（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）等硬件及其软件（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（如图 1-3 所示），导弹、数码相机（如图 1-4 所示）。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。

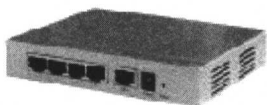


图 1-3 路由器



图 1-4 数码相机

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

- 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。

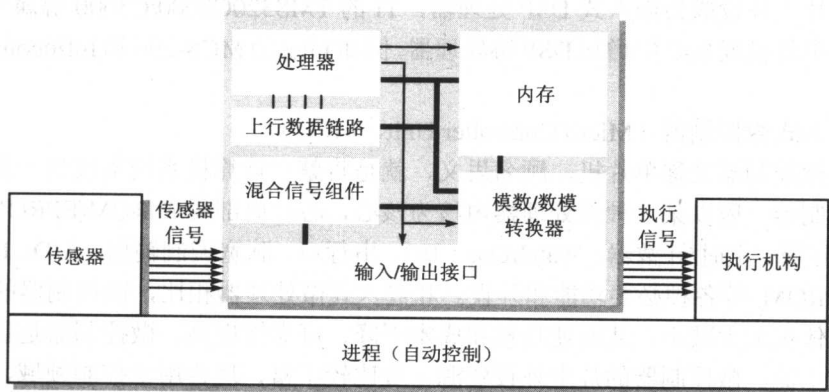


图 1-5 嵌入式系统的基本结构

1.2 嵌入式系统的分类

- 嵌入式系统的分类
- ① 由软硬件组成，作为硬件核心的处理器由微处理器、DSP 处理器、微控制器及片上系统组成
 - ② 根据实时性
 - ① 硬实时操作系统
 - ② 软实时操作系统
 - ③ 根据复杂程度
 - ① 单个微处理器
 - ② 不带计时功能的微处理器装置
 - ③ 带计时功能的组件
 - ④ 在制造或过程控制中使用的计算机系统
 - ④ 另外，按形态则分为设备级（工控机）、板级（单板、模块）、芯片级（MCU、SoC）

1. 嵌入式处理器分类

由于嵌入式系统由软硬件组成，所以可按硬件分类和按软件分类。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，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，例如 Intel 的 MCS-296 和 Infineon (Siemens) 的 TriCore。

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

嵌入式微控制器又称单片机，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。这样除个别无法集成的器件以外，整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去，应用系统电路板将变得很简捷，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 2048 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，可以分为如下两类：

(1) 硬实时操作系统

实时操作系统是嵌入式系统目前最主要的组成部分。根据操作系统的工作特性，实时