

高等学校电子信息类专业

“十二五”规划教材

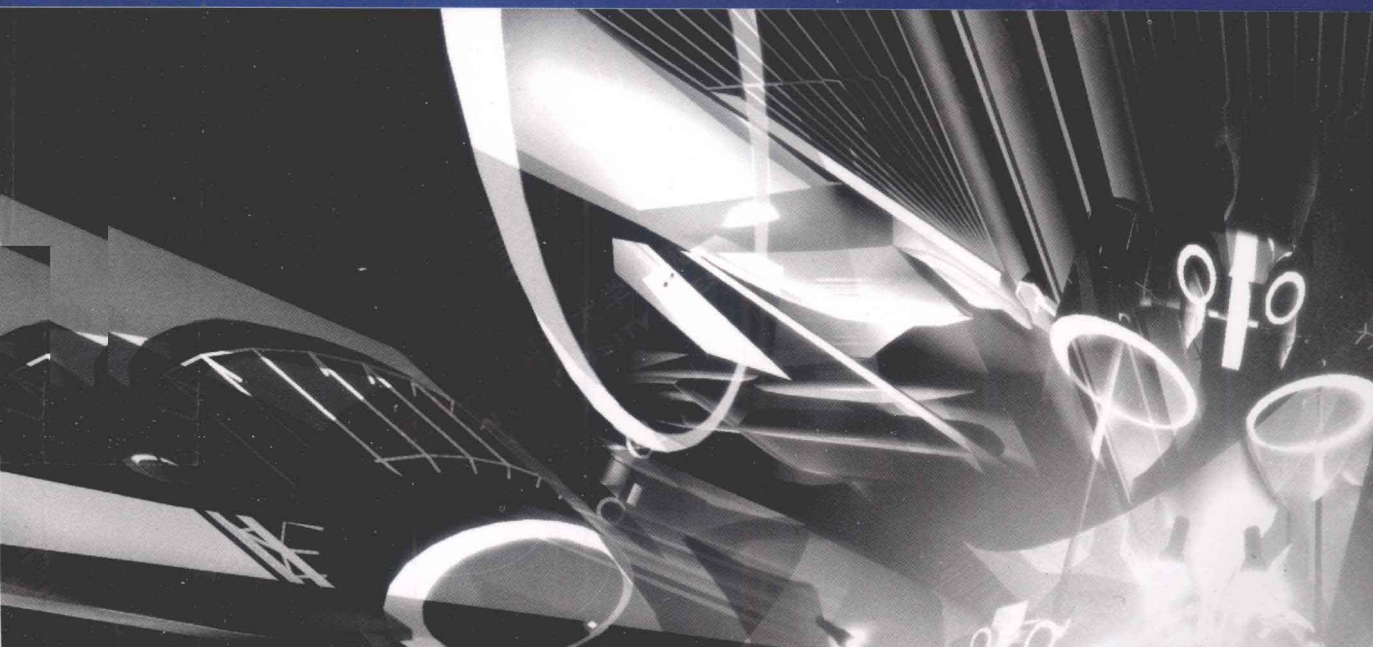
ELECTRONIC
INFORMATION SPECIALTY

ARM嵌入式系统原理及 应用开发

谭会生 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

ARM 嵌入式系统原理及应用开发

谭会生 编 著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

全书共分为 10 章, 内容分别为: 嵌入式系统及应用开发概述、ARM 嵌入式处理器体系结构、ARM 嵌入式处理器指令系统、ARM 嵌入式系统程序设计及调试基础、ARM 嵌入式处理器及其应用程序、嵌入式 Linux 操作系统及应用、嵌入式系统的 Boot Loader、ARM 嵌入式系统设计开发实例、基于 ARM 开发工具的基础实验、Linux 操作系统的综合应用实践。

本书取材广泛、内容新颖、观点鲜明、重点突出, 既可作为高等院校电子工程、通信工程、自动化、计算机应用、仪器仪表等电子信息类及相近专业的本科生或研究生嵌入式系统课程的教材, 也非常适合作为 ARM 嵌入式系统的培训教材, 还可供 ARM 嵌入式系统设计与开发人员参考使用。

★本书配有电子教案, 有需要者可登录出版社网站免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

ARM 嵌入式系统原理及应用开发 / 谭会生编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2012. 2

高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2736 - 6

I. ① A… II. ① 谭… III. ① 微处理器, ARM—系统设计—高等学校—教材 IV. ① TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 003085 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟 陈洪艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编: 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱: xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 24.5

字 数 584 千字

印 数 1~3000 册

定 价 43.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2736 - 6/TP · 1325

XDUP 3028001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软、硬件可剪裁，适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的应用系统的专用计算机系统。基于 ARM 的嵌入式系统具有微内核、系统精简、实时性强、专用性强等特点；具有性能好、成本低、体积小、结构灵活、性价比高等优点。自 21 世纪初基于 ARM 的嵌入式系统在我国开始应用之后，嵌入式系统经过四五年的使用与摸索，现已进入一个快速的发展时期，它是 21 世纪出现的又一发展迅速，并有着广阔应用发展前景的新技术。现今，社会对嵌入式方面大学毕业生的需求不断增加，价格不菲的相关专业培训亦如火如荼地开展着。

自 21 世纪初 ARM 嵌入式系统在我国使用以来，有关著作不断增多，但目前合适的教材却很少，其主要原因有三：一是由外来书籍直接翻译过来的，针对性不强；二是讲理论的多，而讲实践的少，或实践与理论脱节、实践内容的可操作性差；三是没有展现出嵌入式系统的设计与开发的主要基础理论、开发环境和开发过程，内容的完整性不够。针对以上问题，作者总结自己多年从事嵌入式研究与教学的实践经验，编著了本书。

1. 本书的编著原则及特点

本书的编著原则：① 紧跟社会对 ARM 嵌入式系统设计与开发人才的需要，以实际从事 ARM 嵌入式系统设计与开发为目标，进行教材内容的组织和选择；② 理论与实践紧密结合，尽可能全面地展现嵌入式系统的设计与开发全过程中的主要基础理论、开发环境和开发过程；③ 注重课堂教学和课后深化与扩展学习的需要，注重研究性和创新性的教学需要，注重研究体会的提炼和学习方法的指导。

本书的主要特点：以 ARM 嵌入式系统的应用开发为主线，理论与实践紧密结合，从 ARM 微处理器的硬件结构与原理、汇编语言和 C 语言的程序设计与调试、Linux 开发环境的构建与移植三个方面来阐述嵌入式系统的原理与应用基础理论；从应用程序的设计与开发、ARM 嵌入式系统基础实验、Linux 操作系统的综合应用实践三个方面来阐述 ARM 嵌入式系统应用开发的实践；以多年从事 VLSI 设计的体会来讲解系统的硬件原理与软件设计；以 Linux 嵌入式系统开发环境的构建来搭建理论与实践结合的桥梁，以破解嵌入式系统学习的难点。

2. 嵌入式系统的学习内容

嵌入式系统的设计与开发就是利用嵌入式微处理器/微控制器内部的特定资源和扩展的外部资源来设计和开发特定的目标系统。要学习 ARM + Linux 嵌入式系统，初步具备从事 ARM 嵌入式系统应用开发的能力，作者认为首先应掌握的知识有 ARM 嵌入式系统的硬件结构与工作原理、程序设计语言、Linux 开发环境的构建、Linux 操作系统的移植和开发工具的使用、ARM + Linux 嵌入式系统的设计与开发方法(包括嵌入式系统的设计方法、ARM 处理器芯片的选择、嵌入式系统的应用与接口设计、嵌入式设计开发平台的使用等内容)；其次应熟悉与嵌入式系统开发相关的领域知识，比较共性的有网络与通信知识、数据库知识；最后还应有与目标系统相关的特定领域知识，包括数字信号处理、数字图像处理、工业智

能控制、网络通信控制、数字家电控制等基础理论、实现算法和系统仿真等，重点是实现算法的设计、选择和仿真。

3. 嵌入式系统的学习方法

要学好嵌入式系统及其开发应用，首先，必须掌握扎实的嵌入式系统基础理论；其次，要有一个较好的嵌入式系统开发平台和开发环境；第三，要有一个较好的指导教师，并选用一本或几本好的教材，采用合适、有效的学习方法。关于嵌入式系统的教学，作者认为应采用课堂教学与课后研究、探讨、自学相结合，理论学习与实践应用相结合，研究性教学与课题开发相结合的方法。其中，应用设计与开发实践是熟悉和掌握嵌入式系统原理和应用开发技巧的最好方法。

利用 ARM 嵌入式系统开展研究性教学的研究内容，作者认为可以从三个方面开展。

(1) ARM 嵌入式系统设计开发基础研究：主要包括 ARM 器件结构、ARM 汇编语言、C/C++ 语言、操作系统移植、应用程序开发、驱动程序开发等嵌入式系统设计与实现的基础理论、基本方法、基本工具的学习与使用。

(2) ARM 嵌入式系统设计与实现相关研究：主要是与课题设计和实现有关的数字信号处理、数字图像处理、工业智能控制、网络通信控制、数字家电控制等基础理论、实现算法和系统仿真的研究，重点是实现算法的设计、选择和仿真。

(3) 基于 ARM 的嵌入式系统设计与实现：主要包括系统设计需求分析、ARM 实现硬件设计、ARM 操作系统移植、ARM 应用程序设计、ARM 驱动程序设计和 ARM 系统组装与调试。

基于 ARM 嵌入式系统开展的研究性教学的主要形式，包括组建 ARM 嵌入式系统学习兴趣小组、课题系统设计与实现研究小组和选拔教师科研项目助理等；通过专题训练、分散研究、定期讨论、按需答疑、总结汇报等形式开展研究活动。

作者通过学习兴趣小组的形式开展 ARM 嵌入式系统的研究性教学，其主要成效如下：通过研究性学习训练的学生，不但熟练地掌握了嵌入式系统设计与开发的理论与方法，而且具有良好的参考文献查找能力、分析利用和处理文档的能力，同时学生的综合能力、实践动手能力、创新创业能力大为提高，就业核心竞争力也显著提高，80%左右的学生毕业后均能找到从事嵌入式系统设计与开发的工作，并且工资待遇相当不错。

在本书的编著出版过程中，湖南工业大学副校长、硕士生导师张昌凡教授，副校长、博士生导师金继承教授，电气与信息工程学院院长肖伸平教授，西安电子科技大学出版社的领导和马晓娟编辑等给予了大力支持与关心，在此一并表示衷心的感谢！同时，湖南工业大学电气与信息工程学院电子信息科学与技术专业的肖曦、段斌斌、龙小三、易家、夏峰、姜果平、曹雨、麻建华、蒋杰、郑能棠等同学进行了部分文稿的录入、插图的绘制等工作，在此表示真诚的谢意！

由于 ARM 嵌入式系统的设计与开发技术是一门发展非常迅速、综合性非常强、设计开发平台非常多、实践操作性非常强、应用领域非常广泛的新技术，所以很多问题有待于进一步去研究与探讨，加上作者水平有限，书中难免存在疏漏、不妥之处，敬请读者批评指正。

湖南工业大学

谭会生

2011 年 12 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统及应用开发概述	1
1.1 嵌入式系统的定义及特点	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	2
1.2 嵌入式系统的发展及应用	3
1.2.1 嵌入式系统的发展	3
1.2.2 嵌入式系统的应用	5
1.3 嵌入式系统的总体组成	5
1.3.1 嵌入式系统的硬件	6
1.3.2 嵌入式系统的软件	7
1.4 常用的嵌入式处理器	8
1.4.1 嵌入式处理器的种类	8
1.4.2 典型 ARM 微处理器系列	9
1.5 常用的嵌入式操作系统	16
1.5.1 嵌入式操作系统及其特点	16
1.5.2 几种常用嵌入式操作系统	16
1.6 嵌入式系统的设计方法	18
1.6.1 嵌入式系统的总体考虑	18
1.6.2 嵌入式系统的设计步骤	19
1.6.3 嵌入式系统的设计方法	20
1.7 嵌入式系统的应用开发	22
1.7.1 嵌入式系统的开发环境	22
1.7.2 嵌入式系统的调试工具	22
1.7.3 嵌入式系统的应用模式	23
1.7.4 嵌入式应用软件的开发	24
1.8 嵌入式系统的学习探讨	25
1.8.1 嵌入式系统的学习内容	25
1.8.2 嵌入式系统的学习条件	26
1.8.3 嵌入式系统的学习方法	27
习题 1	29
第 2 章 ARM 嵌入式处理器体系结构	30
2.1 嵌入式处理器内核种类	30
2.2 ARM 体系结构概述	31
2.2.1 ARM 体系结构的发展	31
2.2.2 ARM 体系结构的技术特征	33
2.2.3 ARM 处理器的工作状态与 工作模式	33
2.2.4 ARM 处理器的寄存器组	35
2.2.5 ARM 处理器的异常中断	37
2.2.6 ARM 的存储器格式及数据类型	42
2.3 ARM 流水线技术	43
2.3.1 流水线电路设计基础知识	43
2.3.2 微处理器指令流水线处理	44
2.3.3 ARM 的 3 级指令流水线	45
2.3.4 ARM 的 5 级指令流水线	46
2.4 ARM 处理器内核结构	46
2.4.1 ARM 处理器内核概述	46
2.4.2 ARM7TDMI 处理器内核	47
2.4.3 ARM7TDMI 存储器接口	50
2.4.4 ARM7TDMI 的调试接口	52
2.4.5 ARM920T 处理器核	54
2.4.6 AMBA 总线体系结构	55
2.4.7 ARM 的 MMU 部件	56
习题 2	62
第 3 章 ARM 嵌入式处理器指令系统	64
3.1 ARM 指令分类及指令格式	64
3.1.1 ARM 指令分类	64
3.1.2 ARM 指令格式	65
3.1.3 ARM 指令中的操作数符号	67
3.1.4 ARM 指令中的移位操作	67
3.2 ARM 指令的寻址方式	69
3.3 ARM 指令集	73
3.3.1 数据处理类指令	73
3.3.2 程序状态寄存器访问指令	78
3.3.3 程序分支指令	79
3.3.4 加载/存储指令	80
3.3.5 协处理器指令	83

3.3.6 异常中断指令	85
3.4 Thumb 指令集	85
3.4.1 数据处理类指令	86
3.4.2 程序分支指令	87
3.4.3 加载/存储指令	88
3.4.4 异常中断指令	89
习题 3	90

第 4 章 ARM 嵌入式系统程序设计及

调试基础	91
4.1 ARM 嵌入式汇编语言程序设计基础	91
4.1.1 ARM 汇编器支持的伪指令	91
4.1.2 ARM 汇编语言的语句格式	100
4.1.3 ARM 汇编语言的程序结构	103
4.2 ARM 嵌入式 C 语言程序设计基础	104
4.2.1 嵌入式 C 语言程序设计基础	105
4.2.2 嵌入式 C 语言程序设计结构	110
4.2.3 嵌入式 C 语言程序设计技巧	111
4.3 ARM 汇编语言与 C/C++ 的混合编程	112
4.3.1 ATPCS 过程调用规范概述	112
4.3.2 汇编语言与 C/C++ 的混合编程	115
4.4 ARM ADS 集成开发环境的使用	117
4.4.1 ADS 集成开发环境简介	117
4.4.2 Code Warrior 的使用方法	118
4.4.3 用 AXD 调试器进行代码调试	125
4.5 Embest IDE 集成开发环境的使用	129
4.5.1 Embest IDE 集成开发环境简介	129
4.5.2 Embest IDE 的使用方法	130
习题 4	132

第 5 章 ARM 嵌入式处理器及其

应用编程	133
5.1 典型 ARM 嵌入式处理器结构概述	133
5.1.1 S3C44B0X 嵌入式微处理器的 体系结构	133
5.1.2 S3C2410X/S3C2440X 嵌入式 微处理器的体系结构	138
5.1.3 LPC2000 嵌入式微控制器的 体系结构	139
5.1.4 AT91FR40162 嵌入式微控制器的 体系结构	140

5.1.5 XScale 嵌入式微处理器 PXA250 的体系结构	141
5.1.6 STR710F 系列嵌入式处理器的 体系结构	142
5.2 ARM 处理器芯片的应用选择	143
5.2.1 ARM 处理器芯片的选择原则	144
5.2.2 ARM 处理器芯片主要供应商	146
5.2.3 ARM 处理器芯片的选择实例	147
5.3 ARM 处理器中的控制寄存器	148
5.3.1 微处理器中控制寄存器的 定义举例	148
5.3.2 微处理器中控制寄存器的 含义及作用	149
5.3.3 微处理器中控制寄存器的 初始化方法	150
5.4 S3C44B0X 内部存储控制类 可编程组件及应用编程	152
5.4.1 存储控制组件及应用编程	152
5.4.2 直接存储器存储 DMA 组件	161
5.5 S3C44B0X 内部输入输出类 可编程组件及应用编程	163
5.5.1 输入输出端口组件及应用	163
5.5.2 LCD 控制组件及应用	169
5.6 S3C44B0X 内部中断控制 可编程组件及应用编程	178
5.6.1 中断控制组件的定义	178
5.6.2 中断系统的应用编程	181
5.7 S3C44B0X 内部计数/定时类 可编程组件及应用编程	183
5.7.1 PWM 组件及应用编程	183
5.7.2 RTC 组件及应用编程	190
5.7.3 WDT 组件及应用编程	196
5.7.4 时钟与电源管理组件	197
5.8 S3C44B0X 内部通信控制类 可编程组件及应用编程	200
5.8.1 异步串行接口 UART 组件	200
5.8.2 同步输入/输出 SIO 组件	204
5.9 S3C44B0X 内部总线接口类可编程组件 及应用编程	206

5.9.1 I ² C 总线组件及应用编程	206	6.4 嵌入式 Linux 内核的移植	282
5.9.2 I ² S 总线组件及应用编程	216	6.4.1 移植内核准备工作	283
5.10 S3C44B0X 内部 ADC 可编程组件 及应用编程	227	6.4.2 修改 Linux 源码参数	283
5.10.1 模数转换 ADC 组件	227	6.4.3 配置 Linux 内核	283
5.10.2 ADC 组件的应用编程	229	6.4.4 编译 Linux 内核	285
5.11 S3C44B0X 嵌入式微处理器 外部接口电路设计	230	6.4.5 烧写镜像到开发板	285
5.11.1 电源模块的选择及电路设计	230	6.5 嵌入式 μ CLinux 及其应用	285
5.11.2 时钟源的设计与分配	231	6.5.1 μ CLinux 主要特点	285
5.11.3 复位电路设计与模式选择	232	6.5.2 μ CLinux 内核结构	285
5.11.4 USB 接口设计及应用	233	6.5.3 μ CLinux 内核移植	286
5.11.5 SPI 总线接口应用	238	6.5.4 μ CLinux 开发环境的建立	287
5.11.6 通信接口设计及应用	243	6.5.5 μ CLinux 下的应用程序开发	290
5.11.7 JTAG 接口电路设计	251	习题 6	290
习题 5	252	第 7 章 嵌入式系统的 Boot Loader	292
第 6 章 嵌入式 Linux 操作系统及 应用	254	7.1 Boot Loader 概述	292
6.1 嵌入式 Linux 操作系统概述	254	7.1.1 Boot Loader 的作用和任务	292
6.1.1 常用嵌入式 Linux 系统	254	7.1.2 常用嵌入式 Boot Loader 介绍	293
6.1.2 嵌入式 Linux 系统内核	255	7.2 Boot Loader 与嵌入式系统的关系	295
6.1.3 嵌入式 Linux 的文件系统	259	7.2.1 Boot Loader 的操作模式	295
6.1.4 嵌入式 Linux 的开发步骤	261	7.2.2 Boot Loader 的总体设计	296
6.2 嵌入式 Linux 的常用命令	262	7.3 Boot Loader 的主要功能及典型结构	297
6.2.1 登录与退出命令	263	7.3.1 Boot Loader 的阶段 1	297
6.2.2 文件操作命令	264	7.3.2 Boot Loader 的阶段 2	399
6.2.3 目录操作命令	265	7.4 S3C44B0X 的 Boot Loader 分析	300
6.2.4 文本操作命令	266	7.5 U-Boot 启动流程及相关代码分析	302
6.2.5 压缩与备份命令	267	7.5.1 U-Boot 启动流程	302
6.2.6 用户相关命令	269	7.5.2 U-Boot 代码分析	303
6.2.7 磁盘管理命令	270	习题 7	313
6.2.8 权限管理命令	271	第 8 章 ARM 嵌入式系统设计 开发实例	314
6.2.9 其他操作命令	273	8.1 基于 ARM+ μ C/OS-II 的嵌入式 磨削数控系统的设计	314
6.3 嵌入式 Linux 开发环境的构建	274	8.1.1 前言	314
6.3.1 操作系统的安装	274	8.1.2 系统硬件设计	314
6.3.2 开发环境的配置	275	8.1.3 系统软件设计	316
6.3.3 交叉编译环境构建	276	8.1.4 结论	318
6.3.4 Makefile 和 Make	279	8.2 基于 ARM + Linux 的现代化超市 电子购物系统的设计	318
6.3.5 镜像文件的烧写	281	8.2.1 前言	318

8.2.2	系统总体设计	319
8.2.3	移动购物终端硬件设计	320
8.2.4	移动购物终端软件设计	321
8.2.5	移动购物服务器端设计	323
8.2.6	系统设计开发调试结果	323
8.2.7	结论	325
8.3	基于 ARM+ Linux 的嵌入式数控磨床 控制系统的设计	325
8.3.1	前言	325
8.3.2	系统总体设计	325
8.3.3	系统硬件设计	325
8.3.4	系统软件设计	328
8.3.5	系统设计开发调试结果	330
8.3.6	结论	332
第 9 章 基于 ARM 开发工具的基础实验		
9.1	ARM 汇编指令使用实验——基本数学/ 逻辑运算	333
9.2	ARM 汇编指令使用实验——存储区 数据块的传送	335
9.3	汇编语言与 C 语言的相互调用实验 ——随机数发生器	338
9.4	C 语言程序组件应用实验——PWM 直流电机控制	341

第 10 章 Linux 操作系统的 综合应用实践		346
10.1	Linux 操作系统的安装及设置	346
10.1.1	VMware 虚拟机的安装	346
10.1.2	Linux 操作系统的安装	347
10.1.3	Linux 操作系统的设置	353
10.2	Linux 开发环境的构建及移植	354
10.2.1	系统工具安装的准备	354
10.2.2	交叉编译器的安装	357
10.2.3	U-Boot 的配置与编译	358
10.2.4	Linux 内核的配置与编译	359
10.2.5	实用工具 Busybox 的安装	362
10.2.6	apps 的安装过程	365
10.2.7	GUI 工具包 QT 的安装	366
10.2.8	Linux 移植镜像的下载	368
10.2.9	Linux 开发环境的构建及 移植总结	372
10.3	Linux 操作系统 QT 的使用	372
10.3.1	QT/Embedded 程序设计基础	372
10.3.2	使用 QT 制作应用程序	373
10.3.3	QT 应用程序的编译与移植	380
参考文献		383

第1章 嵌入式系统及应用开发概述

本章概括地阐述了嵌入式系统及其应用开发的基本概念、基础知识、基本方法等,包括嵌入式系统的定义、发展应用、总体组成、常用的嵌入式处理器、常用的嵌入式操作系统、嵌入式系统的设计方法、嵌入式系统的设计开发、嵌入式系统的学习探讨等内容。

1.1 嵌入式系统的定义及特点

1.1.1 嵌入式系统的定义

通常,计算机连同一些常规的外设是作为独立的系统而存在的,而并非为某一方面的专门应用而存在。如一台 PC(Personal Computer)就是一个完整的计算机系统,整个系统存在的目的就是为人们提供一台可编程、会计算、能处理数据的机器。它既可以作为科学计算的工具,也可以作为企业管理的工具,这样的计算机系统称为通用计算机系统。但是有些系统却不是这样,如医用的微波治疗仪、胃镜等虽然也是一个系统,且系统中也有计算机,但是这种计算机(或处理器)是作为某个专用系统中的一个部件而存在的,其本身的存在并非目的,而只是手段。这种嵌入到专用系统中的计算机被称为嵌入式计算机。将计算机嵌入到系统中,一般并不是指直接把一台通用计算机原封不动地安装到目标系统中,也不只是简单地把原有的机壳拆掉并安装到机器中,而是指为目标系统构建合适的计算机,再把它有机地植入,甚至融入目标系统。

不同的组织、不同的人从不同的角度给嵌入式系统所下的定义有所差异,但大致是相同的。按照电气电子工程师协会(IEEE)的定义,嵌入式系统是用来控制、监控或者辅助操作机器、装置、工厂等大规模系统的设备的。在我国,一般认为:嵌入式系统(Embedded System)是嵌入式计算机系统的简称。简单地说,嵌入式系统就是嵌入到目标体系中的专用计算机系统。嵌入性、专用性与计算机系统是它的三个基本要素。具体地讲,嵌入式系统是指以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软、硬件可裁剪,适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。也就是说,嵌入式系统把计算机直接嵌入到应用系统中,它融合了计算机软/硬件技术、通信技术和微电子技术,是集成电路发展过程中的一个标志性成果。

与嵌入式系统相关的另一个概念是嵌入式设备,它是指内部有嵌入式系统的产品和设备,如内含单片机的家用电器、仪器仪表、工控单元、机器人、手机、PDA等。

嵌入式技术的快速发展不仅使其成为当今计算机技术和电子技术的一个重要分支,同时也使计算机的分类从巨型机/大型机/小型机/微型机变为通用计算机/嵌入式计算机(即嵌入式系统)。可以预言,嵌入式系统将成为后 PC 时代的主宰。

1.1.2 嵌入式系统的特点

由于嵌入式系统是一种特殊形式的计算机系统,因此它同计算机系统一样由硬件和软件构成。嵌入式系统是由定义中的三个基本要素衍生出来的,不同的嵌入式系统,其特点会有所差异,但其主要特点是一致的。

1. 嵌入式系统是专用的计算机系统

嵌入式系统的硬、软件均是面向特定应用对象和任务设计的,具有很强的专用性和多样性。它提供的功能以及面对的应用和过程都是可预知的、相对固定的,而不像通用计算机那样有很大的随意性。嵌入式系统的硬、软件具有可裁剪性,能满足对象要求的最小硬、软件配置。

2. 嵌入式系统须满足系统应用环境的要求

由于嵌入式系统要嵌入到对象系统中,因此它必须满足对象系统的环境要求,如物理环境(集成度高、体积小)、电气环境(可靠性高)、成本(价低廉)、功耗(能耗少)等的高性价比要求。另外,它还要能满足对温度、湿度、压力等自然环境的要求。民用和军用嵌入式系统对自然环境的要求差别很大。

3. 嵌入式系统须满足对象系统的控制要求

嵌入式系统必须配置有与对象系统相适应的接口电路,如 A/D 接口、D/A 接口、PWM 接口、LCD 接口、SPI 接口、I²C 接口等。

4. 嵌入式系统是一个知识集成应用系统

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、不断创新的系统集成系统。

5. 嵌入式系统具有较长的应用生命周期

嵌入式系统和实际应用有机地结合在一起,它的更新换代也是和实际产品一同进行的,因此基于嵌入式系统的产品一旦进入市场,就具有较长的生命周期。

6. 嵌入式系统的软件固化在非易失性存储器中

为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在 EPROM、E²PROM 或 Flash 等非易失性存储器中,而不是像通用计算机系统那样存储于磁盘等载体中。

7. 多数嵌入式系统具有实时性要求

许多嵌入式系统都有实时性要求,需要有对外部事件迅速反应的能力。以前,嵌入式系统几乎是实时系统的代名词,近年来出现了许多不带实时要求的嵌入式系统,这两个词的区别才变得显著起来。但是,多数嵌入式系统还是有着不同程度的实时性要求的。

8. 嵌入式系统设计须专用的开发环境和开发工具

嵌入式系统本身不具备自主开发能力,即使设计完成以后,用户通常也不能对其中的程序功能进行修改,必须有一套开发工具和相应的开发环境才能进行开发和修改。

1.2 嵌入式系统的发展及应用

1.2.1 嵌入式系统的发展

20 世纪 60 年代末期, 微电子技术的发展使得嵌入式计算机逐步兴起。随着计算机技术、通信技术、电子技术一体化进程不断加快, 目前嵌入式技术已成为广大技术人员的研究热点。

1. 嵌入式系统发展的四个阶段

1) 以单片机为核心的低级嵌入式系统

以单片机(微控制器)为核心的可编程控制器形式的低级嵌入式系统是嵌入式系统发展的第一阶段。低级嵌入式系统具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能, 应用于专业性很强的工业控制系统中, 通常不含操作系统, 而是采用汇编语言编程软件对系统进行控制。该阶段的嵌入式系统处于低级阶段, 主要特点是系统结构和功能单一、处理效率不高、存储容量较小、用户接口简单或没有用户接口, 但它的使用简单、成本低廉。

2) 以嵌入式微处理器为基础的初级嵌入式系统

以嵌入式微处理器为基础, 以简单操作系统为核心的初级嵌入式系统是嵌入式系统发展的第二阶段。初级嵌入式系统的主要特点是处理器种类多, 通用性较弱; 系统效率高, 成本低; 操作系统具有兼容性、扩展性, 但用户界面简单。

3) 以嵌入式操作系统为标志的中级嵌入式系统

以嵌入式操作系统为标志的中级嵌入式系统是嵌入式系统发展的第三阶段。中级嵌入式系统的主要特点是嵌入式系统能运行于各种不同的嵌入式处理器上, 兼容性好; 操作系统内核小、效率高, 并且可任意裁剪; 具有文件和目录管理、多任务功能, 支持网络, 具有图形窗口以及良好的用户界面; 具有大量的应用程序接口, 嵌入式应用软件丰富。

4) 以 Internet 为标志的高级嵌入式系统

以 Internet 为标志的高级嵌入式系统是嵌入式系统发展的第四阶段。目前嵌入式系统大多孤立于 Internet 之外, 随着网络应用的不断深入和信息家电的发展, 嵌入式系统的应用必将与 Internet 有机结合在一起, 成为嵌入式系统发展的未来。

新一代基于 32 位/64 位微处理器的嵌入式系统, 相对于 8 位/16 位单片机嵌入式系统, 具有五个方面的优势: ① 芯片内外资源丰富, 硬件系统简单; ② 可运行各种操作系统, 应用程序开发难度降低, 系统人机界面友好; ③ 系统数据处理能力强, 控制精度高; ④ 有成熟的开发工具、丰富的开发资源和资料; ⑤ 32/64 位的嵌入式系统的开发人群不断增多, 有助于降低企业项目的开发成本和保持开发的连续性。

2. 嵌入式系统的发展趋势

1) 嵌入式系统结构将更加复杂, 硬件向集成化发展, 软件将逐渐 PC 化

随着信息产品功能的不断增多, 产品性能的不不断提高, 嵌入式系统的结构将更加复杂。

在嵌入式系统的硬件设计上,为了满足应用功能的升级,设计师一方面采用更强大的嵌入式处理器增强处理能力,如 32 位、64 位 RISC 芯片或信号处理器(DSP);另一方面增加功能接口,并加强对多媒体、图形等的处理,逐步实现片上系统(System on a Chip——SoC)的概念。

在软件设计方面,人们采用实时多任务编程技术和交叉开发工具技术来控制功能复杂性、简化应用程序设计、保障软件质量和缩短开发周期。随着移动互联网的发展和跨平台开发语言的广泛应用,嵌入式软件开发的观念将逐渐淡化,即嵌入式软件开发和非嵌入式软件开发的差别将逐渐减小,嵌入式系统软件将逐渐 PC 化。

2) 嵌入式系统将向小型化、智能化、网络化、可视化、低功耗和低成本方向发展

随着技术水平的提高和人们生活的需要,嵌入式设备正朝着小型化和智能化的方向发展。目前的上网本、MID(移动互联网设备)、便携式投影仪等都是因类似的需求而出现的。对嵌入式而言,可以说已经进入了嵌入式互联网时代(有线网、无线网、广域网、局域网的组合),嵌入式设备和互联网的紧密结合,为我们的生活带来了极大的方便和无限的想象空间。嵌入式设备的功能越来越强大,未来的冰箱、洗衣机等家用电器都将实现网上控制;异地通信、协同工作、无人操控场所、安全监控场所等的可视化已经成为了现实。而且随着网络运载能力的提升,可视化将得到进一步完善。人工智能、模式识别技术也将在嵌入式系统中得到应用,使其更加人性化、智能化。

为了支持小型电子设备实现小尺寸、低功耗和低成本,嵌入式产品设计者应相应降低处理器的性能,限制内存容量和复用接口芯片,这就提高了对嵌入式软件设计技术的要求,使设计者不得不选用最佳的编程模型和不断改进算法;而且要求软件人员有丰富经验,发展先进嵌入式软件技术,如 Java、Web 和 WAP 等。

3) 不断改善人机交互的方法,提供精巧的多媒体人机界面

嵌入式设备之所以为亿万用户乐于接受,重要因素之一是它们的“亲和力”以及自然的人机交互界面,如司机操纵高度自动化的汽车时主要还是通过传统的方向盘、脚踏板和操纵杆来进行;人们与信息终端交互时通过以 GUI 屏幕为中心的多媒体界面来进行。手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件以及彩色图形/图像的处理已取得初步成效。目前一些先进的 PDA 在显示屏幕上已实现汉字写入、短消息语音发布,但这些离掌式语音同声翻译还有很大距离。

4) 云计算、可重构、虚拟化等技术被进一步应用到嵌入式系统

云计算(Cloud)是将计算分布在大量的分布式计算机上,这样人们只需要一个终端就可以通过网络服务来实现所需要的计算任务,甚至是超级计算任务了。云计算是分布式处理(Distributed Computing)、并行处理(Parallel Computing)和网格计算(Grid Computing)的发展,或者说是这些计算机科学概念的商业实现。在未来几年里,云计算将得到进一步发展与应用。

可重构性是指在一个系统中,其硬件模块或(和)软件模块均能根据变化的数据流或控制流对系统结构或算法进行重新配置(或重新设置)。可重构系统最突出的优点就是能够根据不同的应用需求,改变自身的体系结构,以便与具体的应用需求相匹配。

虚拟化是指计算机软件在一个虚拟的平台上,而不在一个真实的硬件上运行。虚拟化技术可以简化软件的重新配置过程,易于实现软件的标准。其中 CPU 的虚拟化可以使单

CPU 模拟多 CPU 并行运行, 允许一个平台同时运行多个操作系统, 并且都可以在相互独立的空间内运行而互不影响, 从而提高工作效率和安全性。虚拟化技术是降低多内核处理器系统开发成本的关键, 是未来几年最值得期待和关注的关键技术之一。

随着各种技术的成熟与在嵌入式系统中的应用, 嵌入式系统将不断增添新的魅力和发展空间。

5) 嵌入式软件开发更平台化、标准化, 系统可升级、代码可复用, 将更受重视

嵌入式操作系统将进一步走向开放、开源、标准化、组件化。嵌入式软件开发平台化也将是今后的一个趋势, 越来越多的嵌入式软、硬件行业标准将出现, 最终的目标是使嵌入式软件开发简单化, 这也是一个必然规律。随着系统复杂度的提高, 系统可升级和代码复用技术在嵌入式系统中将得到更多的应用。另外, 因为嵌入式系统采用的微处理器种类繁多, 所以在嵌入式软件开发中将更多地使用跨平台的软件开发语言与工具。目前, Java 语言被越来越多地使用到嵌入式软件开发中。

1.2.2 嵌入式系统的应用

嵌入式系统具有非常广阔的应用领域, 是现代计算机技术改造传统产业、提升多领域技术水平的有力工具, 可以说嵌入式系统无处不在。其主要应用领域包括工业、航空航天、消费电子、网络以及军事国防等各个领域, 如图 1.1 所示。

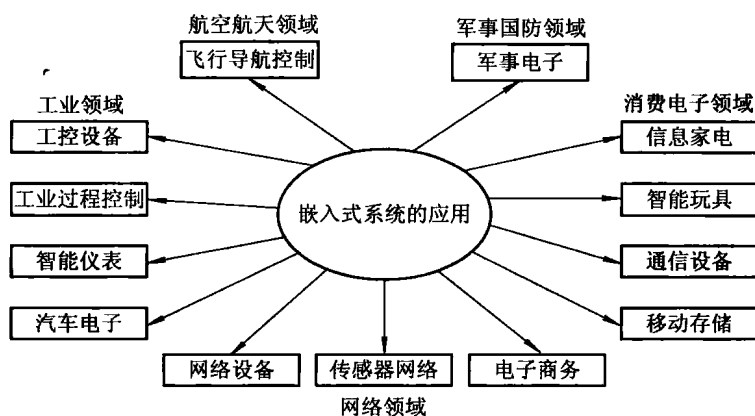


图 1.1 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统在很多产业中得到了广泛的应用, 并逐步改变着这些产业。神州飞船和长征系列火箭系统中就有很多嵌入式系统, 导弹的制导系统也有嵌入式系统, 高档汽车中也有多达几十个嵌入式系统。

在日常生活中, 人们使用着各种嵌入式系统, 但未必知道它们。事实上, 几乎所有带有一点“智能”的家电(全自动洗衣机、电饭煲等)都使用了嵌入式系统。总的来说, 嵌入式系统具有广泛的适应能力和多样性。

1.3 嵌入式系统的总体组成

嵌入式系统既然是一种专用的计算机应用系统, 当然也包括硬件和软件两大部分。由

于嵌入式系统是一个应用系统，因此还需要应用中的执行机构，用于实现对其他设备的控制、监视或管理。基于控制领域的典型嵌入式系统如图 1.2 所示。

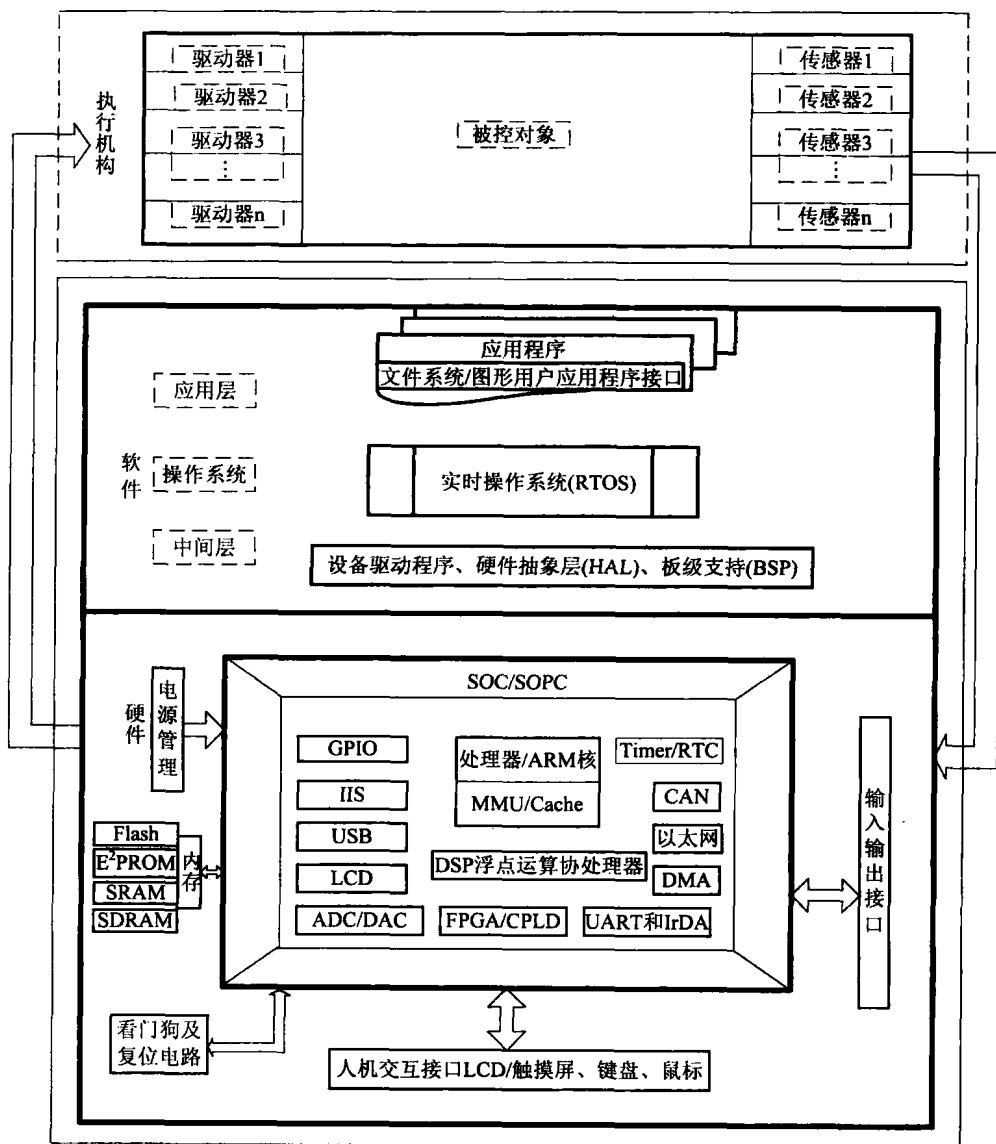


图 1.2 基于控制领域的典型嵌入式系统

1.3.1 嵌入式系统的硬件

典型的嵌入式系统的硬件组成如图 1.3 所示。

嵌入式系统的硬件由电源模块、嵌入式处理器、存储器(程序存储器和数据存储器)模块、可编程逻辑器件、嵌入式系统周边元器件、各种 I/O 接口、总线以及外部设备和插件等组成。它以嵌入式处理器为核心，目前一般应用场合多采用嵌入式微处理器(如 ARM7 或 ARM9 等)，在信息处理能力要求比较高的场合，可采用嵌入式 DSP，以完成高性能信号处理。

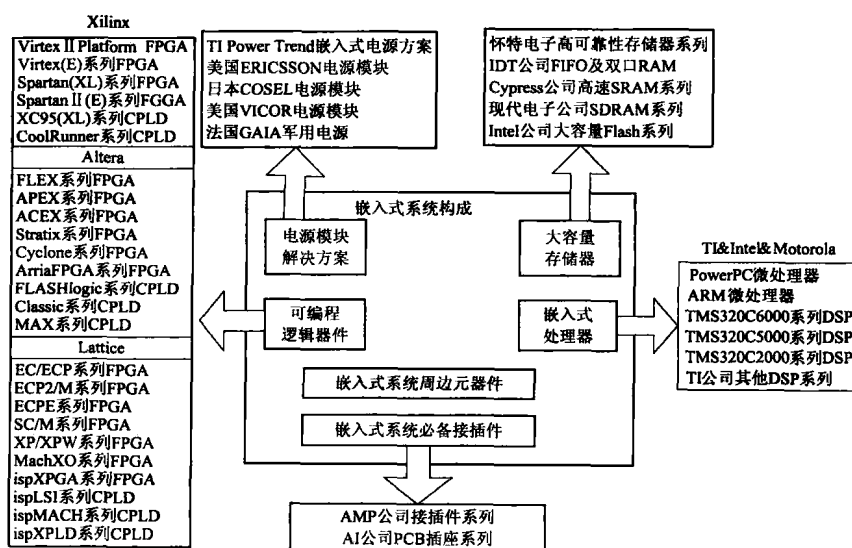


图 1.3 典型的嵌入式系统硬件组成

有些应用场合要求具有 USB 接口、I²C 总线接口、SPI 接口、CAN 总线接口、以太网接口以及 A/D、D/A、PWM 等接口，因此，嵌入式系统的硬件要根据实际应用进行选择或裁剪，以最少成本满足应用系统的要求。嵌入式系统的硬件具体模块将在后面章节详细介绍。

1.3.2 嵌入式系统的软件

嵌入式系统的软件包括中间层程序、嵌入式操作系统和应用软件。对于简单的嵌入式系统，可以没有嵌入式操作系统，仅存在设备驱动程序和应用软件。

1. 中间层程序

中间层程序主要为上层软件提供设备的操作接口，它包括硬件抽象层(Hardware Abstraction Layer, HAL)、板级支持包(Board Support Package, BSP)以及设备驱动程序。

1) 硬件抽象层

硬件抽象层(HAL)是位于操作系统内核与硬件电路之间的接口层，其目的就是将硬件抽象化，即可以通过程序来控制处理器、I/O 接口以及存储器等所有硬件的操作，这样能使系统的设备驱动程序与硬件设备无关，提高了系统中的可移植性。它包括相关硬件的初始化、数据的输入/输出操作、硬件设备的配置等操作。

2) 板级支持包

板级支持包(BSP)介于硬件和嵌入式操作系统中驱动层程序之间，主要实现对嵌入式操作系统的支持，为上层的驱动程序提供访问硬件设备寄存器的函数包，使之能够更好地运行于硬件。BSP 实现的功能主要有：① 系统启动时对硬件进行初始化；② 为驱动程序提供访问硬件的手段，Boot Loader 便属于此类。

3) 设备驱动程序

系统安装的硬件设备必须经过驱动才能被使用，设备的驱动程序为上层软件提供调用的操作接口。上层软件只需要调用驱动程序提供的接口，而不必关心设备内部的具体操作

就可以控制硬件设备。驱动程序除了具备基本的功能函数外(初始化、中断响应、发送、接收等)外,还应具备完善的错误处理函数。

2. 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统在复杂的嵌入式系统中发挥着非常重要的作用。有了嵌入式操作系统,进程管理、进程间的通信、内存管理、文件管理、驱动程序、网络协议等方可实现。常用的嵌入式操作系统详见 1.5.2 节。

3. 应用软件

应用软件是在嵌入式操作的系统支持下通过调用 API 函数,并结合实际应用编制的用户软件,如抄表系统的软件、掌上信息查询软件等。

1.4 常用的嵌入式处理器

1.4.1 嵌入式处理器的种类

嵌入式处理器主要有 5 类:嵌入式微处理器(Embedded Microcomputer Unit, EMPU)、嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller Unit, EMCU)、嵌入式数字信号处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)、嵌入式片上系统(System On Chip, SOC)和嵌入式可编程片上系统(System On a Programmable Chip, SOPC)。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器是由 PC 中的 CPU 演变而来的,与通用 PC 的微处理器不同的是,它只保留了与嵌入式应用紧密相关的功能硬件。典型的 EMPU 有 Power PC、MIPS、MC68000、i386EX、AMD K6 2E 以及 ARM 等,其中 ARM 是应用最广、最具代表性的嵌入式微处理器。本书主要介绍的是基于 ARM 的嵌入式系统结构及其设计。

2. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器的典型代表是单片机,其内部集成了 ROM/EPROM/Flash、RAM、总线、总线逻辑、定时器、看门狗、I/O 接口等各种必要的功能部件。典型的 EMCU 有 51 系列、MC68 系列、PIC 系列、MSP430 系列等。

3. 嵌入式数字信号处理器

嵌入式数字信号处理器(DSP)是专门用于数字信号处理的微处理器,在系统结构和指令算法方面经过特殊设计,因而具有很高的编译效率和指令执行速度。DSP 芯片的内部采用程序和数据分开的哈佛结构,具有专门的硬件乘法器,广泛采用流水线操作,提供特殊的 DSP 指令,可以用来快速地实现各种数字信号处理算法。典型的 EDSP 有 TMS32010 系列、TMS32020 系列、TMS32C30/C31/C32、TMS32C40/C44、TMS32C50/C51/C52/C53 以及集多个 DSP 于一体的高性能 DSP 芯片 TMS32C80/C82 等。

4. 嵌入式片上系统

微电子技术的进步以及各应用领域多样化的需求促使集成电路向高速、高集成度、低功耗的系统集成方向发展,且出现了在单芯片上集成嵌入式 CPU、DSP、存储器和其他控