



高等学校计算机专业“十一五”规划教材

ARM 嵌入式系统 基础及应用

黄俊 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

ARM 嵌入式系统基础及应用

主 编 黄 俊

参 编 邱绍峰 王小平 代少升

刘科征 邵 凯

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了嵌入式系统的概念、组成、发展趋势及嵌入式处理器的分类,并对嵌入式操作系统作了简单介绍。全书共分10章,首先针对ARM体系结构的CPU模块、存储模块、I/O模块和时钟模块等硬件模块的基础知识和开发进行了介绍,并给出了典型的硬件模块开发的例子。然后介绍了Windows Embedded CE嵌入式操作系统的管理、应用程序开发、驱动程序开发。此外,本书还介绍了嵌入式系统的发展趋势——可编程片上系统(SOPC)及SOPC的开发流程。最后针对工程应用详细讲述了嵌入式项目的开发方法,包括产品开发过程、文档、产品开发的工程与项目管理。

本书可作为高等院校相关专业的教材使用,也可供有志从事嵌入式系统设计和应用的工程师参考。

图书在版编目(CIP)数据

ARM 嵌入式系统基础及应用 / 黄俊主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.9

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2370-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 149117 号

策 划 陈 婷

责任编辑 杨丕勇 陈 婷

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 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15

字 数 350千字

印 数 1~3000册

定 价 21.00元

ISBN 978-7-5606-2370-2/TP·1195

XDUP 2662001-1

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。

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

编审专家委员会

主 任: 马建峰 (西安电子科技大学计算机学院院长, 教授)

副主任: 赵祥模 (长安大学信息工程学院院长, 教授)

余日泰 (杭州电子科技大学计算机学院副院长, 副教授)

委 员: (按姓氏笔画排列)

王忠民 (西安邮电学院计算机系副主任, 教授)

王培东 (哈尔滨理工大学计算机与控制学院院长, 教授)

石美红 (西安工程大学计算机科学与技术系主任, 教授)

纪 震 (深圳大学软件学院院长, 教授)

刘卫光 (中原工学院计算机学院副院长, 教授)

陈 以 (桂林电子科技大学计算机与控制学院副院长, 副教授)

张尤赛 (江苏科技大学电子信息学院副院长, 教授)

邵定宏 (南京工业大学信息科学与工程学院副院长, 教授)

张秀虹 (青岛理工大学计算机工程学院副院长, 教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长, 副教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院副院长, 教授)

李敬兆 (安徽理工大学计算机科学与技术学院院长, 教授)

范 勇 (西南科技大学计算机学院副院长, 副教授)

陈庆奎 (上海理工大学计算机学院副院长, 教授)

周维真 (北京信息科技大学计算机学院副院长, 教授)

徐 苏 (南昌大学计算机系主任, 教授)

姚全珠 (西安理工大学计算机学院副院长, 教授)

徐国伟 (天津工业大学计算机技术与自动化学院副院长, 副教授)

容晓峰 (西安工业大学计算机学院副院长, 副教授)

龚尚福 (西安科技大学计算机系主任, 教授)

策 划: 臧延新 云立实

杨 璠 陈 婷

前 言

嵌入式系统是当前电子及信息行业发展最快、应用最广、最有前景的应用技术之一。多媒体手机、掌上 PDA、电视机顶盒、数码相机、网络路由器等都离不开嵌入式系统。在众多的嵌入式处理器中,ARM(Advanced RISC Machines)处理器已成为主流应用处理器和嵌入式系统的代表。当前,基于 ARM 内核的 32 位 RISC 处理器以内核耗电少、成本低、功能强以及特有的 16/32 位双指令集,成为移动通信、手持计算、多媒体数字消费等嵌入式解决方案中的重要角色。多家知名半导体公司都推出了基于 ARM 内核的系列处理器产品,越来越多的开发人员利用 ARM 平台进行产品开发工作。

目前很多嵌入式系统方面的书籍定位于某种嵌入式处理器的原理和应用,专讲一种处理器开发工具的使用,对嵌入式系统的开发者来说,不能满足其在嵌入式系统总体设计、软/硬件选型、方案设计等方面的需要。本书正是针对这一问题而编写的。

本书共分 10 章,其中第 1 章介绍了嵌入式系统的概念、组成、发展趋势及嵌入式处理器的分类,并对嵌入式操作系统作了简单介绍;第 2 章主要介绍了构成 ARM 体系结构的 CPU 模块、存储模块、I/O 模块和时钟模块;第 3 章重点讲解了 ARM 硬件模块的开发,并给出了典型的硬件模块开发实例;第 4 章主要讨论了软件系统的开发,包括汇编语言开发和 C 语言开发,同时对嵌入式软件开发平台进行了介绍;第 5 章分析了嵌入式系统中的中断机制及其应用;第 6 章讲述了 Windows Embedded CE 嵌入式操作系统的管理和设计流程;第 7 章讲解了 Windows CE 应用程序开发的工具和具体步骤;第 8 章介绍了 Windows CE 驱动程序开发,并以 IIC 接口驱动设计为例,讲解了具体的设计步骤;第 9 章主要介绍 Nios II 软核处理器以及支持 Nios II 软核处理器的 FPGA 系列,并详细介绍了 SOPC 的开发流程;第 10 章详细讲述了嵌入式项目的开发方法,包括产品开发过程、文档、产品开发的工程与项目管理。

本书可作为高等院校相关专业研究生、本科生及高职院校相关专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

在编写本书的过程中,张举、董伟、周萌、张杰、邢进、李霞、蔡昌、王建勇、陈培培、乔彬、朱雁程、谭峰、钟鹏、万志卫、李建寰、阳波、李铁军、唐浩、魏慧、王彬、李峥、赵蕾、刘燕霞、宛鹏飞、徐沛、盛春旭、张锐等在资料收集、整理和写作方面做了大量的工作,在此表示感谢!

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

作 者
2010 年 6 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述.....1	2.3.4 存储器映射..... 18
1.1 嵌入式系统基础.....1	2.4 本章小结..... 18
1.1.1 嵌入式系统的定义.....1	思考与练习..... 19
1.1.2 嵌入式系统的基本组成.....1	第 3 章 ARM 硬件模块开发..... 20
1.1.3 嵌入式系统的特点.....2	3.1 ARM 硬件平台结构..... 20
1.1.4 嵌入式系统的发展趋势.....2	3.1.1 最小系统及常用硬件模块..... 20
1.2 嵌入式微处理器.....3	3.1.2 硬件设计基本原则..... 21
1.2.1 嵌入式微处理器简介.....3	3.1.3 ARM 调试系统..... 21
1.2.2 ARM 微处理器.....3	3.2 SDRAM 模块设计..... 22
1.2.3 嵌入式 DSP 处理器.....4	3.2.1 SDRAM 芯片引脚描述..... 22
1.2.4 网络处理器.....4	3.2.2 SDRAM 的模块原理图..... 23
1.2.5 嵌入式片上系统.....5	3.2.3 SDRAM 的工作模式..... 24
1.3 嵌入式操作系统.....5	3.2.4 SDRAM 的初始化操作..... 24
1.3.1 操作系统的基本概念.....5	3.2.5 SDRAM 的基本读写操作..... 25
1.3.2 嵌入式操作系统简介.....6	3.2.6 SDRAM 控制器的状态转换..... 25
1.3.3 实时操作系统基础.....6	3.3 Flash 模块设计..... 26
1.3.4 常见的实时操作系统及应用.....7	3.3.1 Flash 的特点和分类..... 26
1.4 本章小结.....7	3.3.2 Nor-Flash 及 Nand-Flash 芯片 引脚描述..... 27
思考与练习.....8	3.3.3 Flash 硬件设计..... 29
第 2 章 ARM 体系结构.....9	3.3.4 Flash 存储器的操作..... 30
2.1 ARM 处理器简介.....9	3.4 LCD 模块设计..... 31
2.1.1 ARM 处理器的型号和特点.....9	3.4.1 LCD 工作原理..... 31
2.1.2 ARM 处理器结构.....11	3.4.2 LCD 硬件电路设计..... 32
2.2 ARM 寄存器描述.....12	3.4.3 LCD 驱动程序设计..... 33
2.2.1 ARM 处理器的工作状态.....12	3.5 USB 模块设计..... 35
2.2.2 ARM 处理器的运行模式.....12	3.5.1 USB 发展简介..... 35
2.2.3 ARM 状态下的寄存器组.....13	3.5.2 USB 工作原理及特点..... 36
2.2.4 程序状态寄存器.....14	3.5.3 USB 硬件电路设计..... 38
2.2.5 异常处理.....15	3.5.4 USB 驱动程序设计..... 39
2.3 存储器映射 I/O.....16	3.6 I/O 接口模块设计..... 41
2.3.1 地址空间.....17	3.6.1 GPIO..... 41
2.3.2 存储器格式.....17	3.6.2 UART..... 42
2.3.3 非对齐的存储器访问.....17	

3.6.3 SPI 接口	43	5.2.1 Windows CE 中断的相关概念	95
3.6.4 I ² C 总线	45	5.2.2 Windows CE 中断处理过程分析	96
3.7 本章小结	45	5.3 本章小结	100
思考与练习	46	思考与练习	101
第 4 章 ARM 编程与调试	47	第 6 章 Windows CE 嵌入式	
4.1 ARM 指令系统	47	操作系统	102
4.1.1 ARM 指令介绍	47	6.1 操作系统概述	102
4.1.2 ARM 指令寻址方式	49	6.1.1 操作系统的发展	102
4.1.3 ARM 指令集介绍	52	6.1.2 操作系统的分类和结构	102
4.1.4 Thumb 指令集	59	6.1.3 嵌入式操作系统	103
4.2 ARM 汇编语言设计	60	6.1.4 嵌入式实时操作系统	103
4.2.1 ARM 汇编语言格式简介	61	6.1.5 典型的嵌入式操作系统	104
4.2.2 ARM 汇编语言的程序设计	62	6.2 Windows CE 嵌入式操作系统概述	107
4.3 ARM C 语言设计	63	6.2.1 Windows CE 的特点	108
4.3.1 C 语言编程技术	64	6.2.2 Windows CE 的应用	109
4.3.2 C 语言与汇编语言混合编程	65	6.2.3 Windows CE 的体系	
4.3.3 ARM C/C++ 编译器	66	结构和功能	109
4.4 ADS 开发平台	68	6.3 Windows CE 的管理	111
4.4.1 ADS 开发平台的特点	68	6.3.1 进程、线程	111
4.4.2 CodeWarrior 软件的使用方法	69	6.3.2 内存管理	113
4.4.3 AXD 调试软件的使用方法	77	6.3.3 设备管理器与文件系统	115
4.5 SDT 开发平台	81	6.3.4 用户界面与图形系统	117
4.6 基于 JTAG 的调试系统	82	6.3.5 注册表	117
4.6.1 JTAG 调试接口简介	82	6.3.6 电源管理	119
4.6.2 JTAG 调试系统的特点及结构	83	6.4 Windows CE 操作系统设计	120
4.6.3 常用 JTAG 调试工具	83	6.4.1 Platform Builder 集成开发环境	120
4.7 仿真器调试系统	85	6.4.2 定制 Windows CE	122
4.7.1 初始化存储器	86	6.4.3 Windows CE 目录结构	127
4.7.2 在线仿真	86	6.4.4 Windows CE 的构建系统	129
4.7.3 典型调试问题及解决方法	88	6.5 Windows CE BSP 开发	130
4.8 本章小结	89	6.5.1 BSP 概述	130
思考与练习	89	6.5.2 开发 Boot Loader	131
第 5 章 中断在嵌入式系统中的应用	90	6.5.3 开发 OAL	134
5.1 中断概述	90	6.6 应用实例	138
5.1.1 中断原理	90	6.7 本章小结	142
5.1.2 中断的分类	91	思考与练习	142
5.1.3 中断优先级及其判别	93	第 7 章 Windows CE 应用程序设计	143
5.1.4 中断处理过程	93	7.1 Windows CE 应用程序开发简介	143
5.2 Windows CE 下的中断处理分析	95	7.2 Windows CE 系统的开发工具	144

7.2.1	Windows CE 系统的 开发工具概要	144	8.4.2	Windows CE 服务的启动和终止	180
7.2.2	使用 EVC 开发应用程序	146	8.4.3	服务控制	181
7.2.3	使用 Visual Studio 2005 开发 应用程序	147	8.5	I ² C(IIC)接口驱动设计实例	181
7.2.4	使用 Platform Builder 开发 应用程序	147	8.5.1	IIC 总线概要及其特点	181
7.2.5	各种开发工具的比较	148	8.5.2	IIC 总线与硬件设备之间的 数据交互	182
7.3	Windows CE 应用程序开发流程	149	8.5.3	初始化 IIC 中断和编写 ISR	183
7.3.1	安装 SDK	149	8.5.4	编写流驱动程序	184
7.3.2	代码编写和调试	151	8.5.5	IIC 驱动程序的封装和添加	185
7.4	Windows CE 应用程序接口	153	8.6	本章小结	185
7.4.1	Windows 程序设计基础	153		思考与练习	186
7.4.2	Win32 API	154	第 9 章 基于 Nios II 嵌入式 SOPC 设计		187
7.4.3	MFC	155	9.1	SOPC 及其技术	187
7.4.4	ATL	156	9.2	Nios II 软核处理器	188
7.4.5	.NET Compact Framework	157	9.2.1	Nios II 软核处理器简介	188
7.4.6	接口选择原则	157	9.2.2	可配置嵌入式软核处理器的 优势	189
7.5	开发 Windows CE 应用程序的 注意事项	160	9.3	SOPC 的 FPGA 简介	189
7.6	基于 VS 2005 的应用程序开发简例	161	9.3.1	Cyclone 系列	189
7.7	本章小结	166	9.3.2	Cyclone II 系列	190
	思考与练习	166	9.3.3	Stratix 系列	190
第 8 章 Windows CE 驱动程序开发		167	9.3.4	Stratix II 系列	191
8.1	Windows CE 驱动程序开发基础	167	9.3.5	Xilinx 公司的 Virtex-II Pro FPGA	191
8.1.1	Windows CE 驱动程序概述	167	9.4	SOPC 开发流程及开发平台简介	192
8.1.2	Windows CE 驱动程序模型	167	9.4.1	硬件开发	193
8.1.3	Windows CE 驱动程序分类	169	9.4.2	软件开发	193
8.1.4	Windows CE 驱动程序源代码	171	9.4.3	SOPC 基本开发流程简介	193
8.2	流接口驱动程序设计	171	9.5	Nios II 应用程序及其外设 HAL 驱动开发	204
8.2.1	流接口驱动程序的架构	172	9.5.1	Nios II IDE 集成开发环境	204
8.2.2	设备文件名	172	9.5.2	HAL 系统库	207
8.2.3	流接口函数	172	9.5.3	使用 HAL 开发应用程序	209
8.2.4	DMA 实现	175	9.5.4	开发 HAL 下的设备驱动	211
8.3	设备管理器和电源管理	176	9.6	本章小结	216
8.3.1	设备管理器	176		思考与练习	216
8.3.2	电源管理	177	第 10 章 嵌入式系统项目开发方法		217
8.4	Windows CE 中的服务	178	10.1	嵌入式系统项目主要开发流程	218
8.4.1	Windows CE 服务程序概述	178	10.1.1	需求分析	218

10.1.2 总体方案设计	219	10.2.3 面向对象的思想	225
10.1.3 详细设计阶段	220	10.3 本章小结	227
10.1.4 项目测试及中试	223	思考与练习	227
10.1.5 项目结题	224	后记	229
10.2 嵌入式系统工程设计方法简介	224	参考文献	230
10.2.1 由上而下与由下而上	224		
10.2.2 UML 系统建模	225		

第1章

嵌入式系统概述

随着科学技术的发展,嵌入式系统的应用越来越广泛,它几乎应用到了所有的电器设备中,如掌上PDA、移动计算设备、电视机顶盒、手机、数字电视、汽车、微波炉、数码相机、家庭自动化系统、安全系统、自动售货机、工业自动化仪表、医疗仪器等。大力发展嵌入式系统,是适应技术发展趋势和市场发展潮流的关键性战略。它不仅自身的产业潜力十分巨大,同时将极大地带动相关产业的发展,并且对改变我国软件产业和集成电路产业相对落后的局面也是极为关键的一环。本章将介绍嵌入式系统的基础知识。

1.1 嵌入式系统基础

1.1.1 嵌入式系统的定义

IEEE(国际电气和电子工程师协会)对嵌入式系统的定义是:用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置(devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。简而言之,嵌入式系统就是指嵌入到对象体中的专用计算机系统。狭义上讲,嵌入式系统是指以应用为核心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,对功能、可靠性、成本、体积和功耗有严格要求的专用计算机系统。

一个嵌入式系统就是一个具有特定功能或用途的计算机软硬件集合体,就是嵌入到对象体中的专用计算机系统。它包括了三个要素:嵌入、专用、计算机。

1.1.2 嵌入式系统的基本组成

嵌入式系统一般由三个主要部分组成:嵌入式硬件平台、嵌入式操作系统、嵌入式系统应用软件。

(1) 嵌入式硬件平台,包括处理器、存储器(RAM、ROM)、输入/输出设备、辅助系统等。

(2) 嵌入式操作系统,指嵌入式硬件平台上运行的操作系统。

(3) 嵌入式系统应用软件,指用于实现具体业务逻辑功能的各种软件。

图1.1所示为嵌入式系统的组成图。

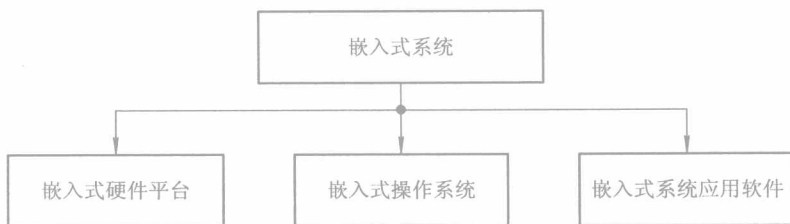


图 1.1 嵌入式系统的组成图

1.1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统作为区别于一般计算机系统的专用计算机系统有其自身特点：

(1) 嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群设计的系统中，通常具有功耗低、体积小、集成度高等特点，能够把通用计算机中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部，使得嵌入式系统趋于小型化，移动能力大大增强，与网络的耦合越来越紧密。

(2) 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，是一个技术密集、资金密集、不断创新的知识集成系统。

(3) 嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计，争取在同样的硅片面积上实现更高的性能，这样才能在具体应用中更具有竞争力。

(4) 嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起，它的升级换代也与具体产品同步进行，因此嵌入式系统产品一旦进入市场，便具有较长的生命周期。

(5) 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固化在存储器芯片或单片机本身中，而不是存储于磁盘等载体中。

(6) 嵌入式系统本身不具备自行开发能力，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环境才能进行开发。

1.1.4 嵌入式系统的发展趋势

嵌入式系统的发展趋势有以下几个方面：

(1) 提供强大的网络服务。嵌入式系统一般配备标准的一种或多种网络通信接口，以适应嵌入式分布处理结构和上网的要求。嵌入式系统还必须配备有 TCP/IP 协议簇软件支持的通信接口来满足外部联网的要求。

(2) 小尺寸、低成本和低功耗。嵌入式系统应选用最佳的编程模式并不断地改进算法，优化编译器性能，以限制内存容量和复用接口芯片，来满足小尺寸、低成本和低功耗的特性。

(3) 人性化的人机界面。自然的人机交互界面使嵌入式设备更具有亲和力，也更容易为用户所接受和使用。

(4) 完善的开发平台。应采用更强大的嵌入式处理器来满足电气结构更为复杂的应用产品，同时采用多任务编程技术和交叉开发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。

1.2 嵌入式微处理器

1.2.1 嵌入式微处理器简介

嵌入式微处理器是由通用计算机的 CPU 演变而来的, 它虽然在功能上与标准微处理器基本相同, 但一般在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都做了各种增强。

嵌入式微处理器一般具备以下几个特点:

(1) 对实时多任务的支持能力强, 能完成多任务并且有较短的中断响应时间, 可使内部的代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。

(2) 具有功能很强的存储区保护功能。由于嵌入式系统的软件结构已模块化, 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, 同时这也有利于软件诊断。

(3) 具有可扩展的处理器结构。

(4) 嵌入式微处理器功耗低, 可用于便携式的无线及移动计算和通信设备中。靠电池供电的嵌入式系统芯片功耗仅为毫瓦级, 甚至是微瓦级。

目前, 嵌入式微处理器主要分为以下几种类型:

1) 微控制器(MCU)

嵌入式微控制器的典型代表是单片机这种 8 位的电子器件, 目前在嵌入式设备中单片机仍然有着极其广泛的应用。

2) 微处理器(MPU)

嵌入式微处理器(Micro Processor Unit)是由通用计算机中的 80386、80387 CPU 演变而来的。与计算机处理器不同的是, 在实际嵌入式应用中, MPU 只保留了和嵌入式应用紧密相关的功能硬件, 去除了其他的冗余功能部分, 这样就以最低的功耗和资源实现了嵌入式应用的特殊要求。

3) 数字信号处理器(DSP)

DSP 是专门用于信号处理方面的处理器, 其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计, 在数字滤波、FFT、频谱分析等各种仪器上, DSP 获得了大规模的应用。

4) 片上系统(SoC)

SoC 是 IC 设计的发展趋势。采用 SoC 设计技术, 可以大幅度地提高系统的可靠性, 减少系统的面积和功耗, 降低系统成本, 极大地提高系统的性能价格比。

5) 可编程片上系统(SOPC)

SOPC 被称为“半导体产业的未来”, 是以 FPGA 为核心的硬件可重构技术。它是用可编程逻辑技术把整个系统放到一块硅片上的技术。

嵌入式微处理器型号主要有 AM186/88、X86 系列、SC-400、Power PC、MIPS 和 ARM 系列。下面对几种主要类型的嵌入式处理器分别进行介绍。

1.2.2 ARM 微处理器

ARM(Advanced RISC Machines)既是一个公司的名字, 也是对一类微处理器的通称。

ARM 公司是专门从事基于 RISC 技术的芯片设计开发的公司。作为知识产权供应商, ARM 公司本身不直接从事芯片生产, 而是靠转让设计许可获利。世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核, 再根据各自不同的应用领域, 加入适当的外围电路, 从而形成自己的 ARM 微处理器芯片产品。目前, 全世界有几十家大的半导体公司都使用 ARM 公司的授权, 因此使得 ARM 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持, 使得整个系统成本降低, 产品更容易进入市场并被消费者所接受, 同时也更具有竞争力。

ARM 微处理器一般采用 RISC 架构。RISC 体系结构一般具有如下特点:

- (1) 采用固定长度的指令格式, 指令归整、简单, 基本寻址方式有 2~3 种。
- (2) 使用单周期指令, 便于流水线操作执行。
- (3) 大量使用寄存器, 数据处理指令只对寄存器进行操作, 只有加载/存储指令可以访问存储器, 以提高指令的执行效率。
- (4) 所有的指令都可根据前面的执行结果决定是否被执行, 从而提高指令的执行效率。
- (5) 可用加载/存储指令批量传输数据, 以提高数据的传输效率。
- (6) 可在一条数据处理指令中同时完成逻辑处理和移位处理。在循环处理中使用地址的自动增减来提高运行效率。

1.2.3 嵌入式 DSP 处理器

嵌入式 DSP 是一种具有特殊结构的微处理器, 主要用在数字滤波、FFT、谱分析等方面。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, 提供特殊的指令, 可以用来快速地实现各种数字信号处理算法。

DSP 芯片一般具有如下主要特点:

- (1) 在一个指令周期内可完成一次乘法和一次加法。
- (2) 程序和数据空间分开, 可以同时访问指令和数据。
- (3) 片内具有快速 RAM, 通常可通过独立的数据总线同时访问指令和数据。
- (4) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持。
- (5) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持。
- (6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器。
- (7) 可以并行执行多个操作。
- (8) 支持流水线操作, 使取指、译码和执行等操作可以重叠执行。

目前, 嵌入式 DSP 处理器最具有代表性的产品是 Texas Instruments 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制的 C2000 系列、用于移动通信的 C5000 系列以及性能更高的 C6000 和 C8000 系列。DSP56000 目前已经发展成为 DSP56000、DSP56100、DSP56200 和 DSP56300 等几个不同系列的处理器。

1.2.4 网络处理器

国际网络处理器会议(Network Processors Conference)对网络处理器(NP, Network Processors)的定义是: 网络处理器是一种可编程器件, 主要用于完成通信领域的各种任务, 比如包处理、协议分析、路由查找、声音/数据的汇聚、防火墙、QoS 等。

网络处理器是专门为处理数据包而设计的可编程处理器, 能够直接完成网络数据处理

的一般性任务。NP 的硬件体系大多采用高速的接口技术和总线规范,具有较高的 I/O 能力,包处理能力得到了很大提升。

NP 一般具有以下特点:

(1) 专用硬件协处理器。对要求高速处理的通用功能模块采用专用硬件实现以提高系统性能。

(2) 专用指令集。转发引擎通常采用精简指令集,并针对网络协议处理特点进行优化。

(3) 分级存储器组织。NP 存储器一般包含多种不同性能的存储结构,对数据进行分类存储以适应不同的应用。

(4) 高速 I/O 接口。NP 具有丰富的高速 I/O 接口,包括物理链路接口、交换接口、存储器接口、PCI 总线接口等。它们通过内部高速总线连接在一起,提供很强的硬件并行处理能力。

(5) 可扩展性。多个 NP 之间还可以互连,构成网络处理器簇,以支持更为大型高速的网络处理。

从网络处理器的以上特点可以看出,与通用处理器相比,网络处理器在网络分组数据处理上具有明显的优势。目前,NP 的主要生产厂商都是国外的,最具有代表性的是 Intel 的 IXP 系列产品和 SiByte 的 Mercurian 系列产品。

1.2.5 嵌入式片上系统

嵌入式片上系统(SoC, System on Chip)指的是在单个芯片上集成一个完整的系统,对所有或部分必要的电子电路进行包分组的技术。一个完整的片上系统一般包括中央处理器、存储器以及外围电路等。

SoC 设计技术始于 20 世纪 90 年代中期,随着半导体工艺技术的发展,IC 设计者能够将越来越复杂的功能集成到单硅片上,SoC 正是在集成电路(IC)向集成系统(IS)转变的趋势下产生的。1994 年 Motorola 发布的 Flex Core 系统(用来制作基于 68000 和 PowerPC 的定制微处理器)和 1995 年 LSI Logic 公司为 Sony 公司设计的 SoC 可能是基于 IP (Intellectual Property)核完成 SoC 设计的最早报导。由于 SoC 可以充分利用已有的设计积累,显著提高 ASIC 的设计能力,故发展非常迅速。

SoC 一般可以分为专用 SoC 和通用 SoC 两种。专用 SoC 一般用于某个或某类系统中;通用 SoC 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 芯片及 Ti 公司的 SoC 系列芯片等。

1.3 嵌入式操作系统

1.3.1 操作系统的基本概念

操作系统是计算机厂家提供的最基本、最重要的系统软件。微机上常见的操作系统有 CP/M、MS-DOS、PC-DOS、UCDOS、UNIX、Linux、XENIX、OS/2、Windows 等。其中 MS-DOS、Windows 和 Linux 是用得较多的操作系统。早期的计算机没有专门的操作系统,

一般由操作人员自己控制计算机上的各种按钮和开关进行操作。在 20 世纪 50 年代第二代计算机诞生以后,计算机的速度和容量都有了很大的提高,使人机之间、CPU 和外设之间的速度不匹配的矛盾更为突出。为了解决这一矛盾,出现了供用户使用的监督程序,并通过此程序使用及控制计算机。到了 20 世纪 60 年代中期,监督程序才进一步发展成为操作系统。

操作系统是计算机系统的资源管理者,它负责管理并调度对系统各类资源的使用,具体地说,其具有以下五大管理功能:

(1) 处理机管理。处理机管理可合理地安排和调度每个进程占用 CPU 的时间,以保证多个作业的完成和 CPU 效率的提高,使用户等待的时间最少。

(2) 存储管理。存储管理可合理分配内存,使各个作业占有的内存区不发生冲突,不互相干扰,并且可对内存进行扩充。

(3) 文件管理。文件管理可完成文件的存取和对文件进行管理,包括管理文件的目录,为文件分配存储空间,执行用户提出的给文件命名、更名、存取、修改、删除等使用文件的各种命令。

(4) 设备管理。当用户程序要使用外部设备时,由它控制(或调用)驱动程序使外部设备工作,并随时对该设备进行监控,处理外部设备的中断请求等。

(5) 作业管理。用户为完成一个任务而要求计算机所做的全体工作称为一个作业。作业管理包括作业的调度、控制、处理和报告。

1.3.2 嵌入式操作系统简介

嵌入式操作系统是操作系统的一种,是在传统操作系统的基础上加入符合嵌入式应用的元素发展而来的,它负责嵌入式系统的全部软、硬件资源的分配、调度、控制、协调。嵌入式操作系统完成系统初始化以及嵌入式应用的任务调度和控制等核心功能。嵌入式操作系统具有以下特点:

(1) 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。

(2) 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。实时操作系统作为操作系统的一个重要分支已经成为了研究的一个热点,主要研讨实时多任务调度的算法和可调度性、死锁解除等问题。

(3) 特殊的开发环境。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、调试器、软件仿真器和监视器等。

1.3.3 实时操作系统基础

实时操作系统(RTOS, Real Time Operating System)是指保证在一定时间限制内完成特定功能的操作系统,是嵌入式系统最重要的组成部分。实时操作系统可以分为软实时操作系统与硬实时操作系统。软实时操作系统要求事件响应是及时的,而硬实时操作系统不仅要

求事件响应的实时，还要求在规定时间内完成对事件的处理。

实时操作系统必须具备以下特征：

- (1) 支持多进程并发执行。
- (2) 有进程和线程优先级。
- (3) 多种中断级别，支持中断嵌套。

实时操作系统中的任务有三种基本状态：

- (1) 就绪：进程已获得除 CPU 以外的其他资源。
- (2) 运行：进程获得 CPU 控制权，处于正在执行的状态。
- (3) 阻塞：进程因等待某事件或 I/O 结果而暂时不能运行的状态。任务发生阻塞时，进程主动放弃 CPU 控制权，等待系统实时事件的发生而转为就绪态。

实时操作系统可分为可抢占型和不可抢占型两类。对于基于优先级的系统而言，可抢占型实时操作系统是指内核可以抢占正在运行任务的 CPU 使用权并将使用权交给进入就绪态的优先级更高的任务，是内核抢了 CPU 让别的任务运行。不可抢占型实时操作系统使用某种算法并决定让某个任务运行后，就把 CPU 的控制权完全交给了该任务，直到它主动将 CPU 控制权还回来。

实时性取决于最长任务的执行时间。不可抢占型实时操作系统如果最长任务的执行时间不能确定，系统的实时性就不能确定。可抢占型实时操作系统的实时性好，优先级高的任务只要具备了运行的条件，或者说进入了就绪态，就可以立即运行。但是，如果任务之间抢占 CPU 控制权处理得不好，则会产生系统崩溃、死机等严重后果。

1.3.4 常见的实时操作系统及应用

目前，较为流行的嵌入式操作系统有：嵌入式 Linux、VxWorks、Windows CE、 μ CLinux 等。随着以智能手机为代表的便携式终端的普及，Symbian、Windows Mobile、Palm、Android 等操作系统也获得了广泛应用。

一般商用嵌入式操作系统都采用计费许可证，即以“提成”的方法向用户收取费用。购买者先付一笔费用购买嵌入式操作系统及其开发环境，在此基础上开发出自己的产品，然后每出售一套采用该系统的产品，便向操作系统提供商上交一定的费用。为便于应用系统的开发和调试，通常额外付费就可以取得嵌入式操作系统的源代码。Microsoft 公司本来从不向用户提供源代码，但是其嵌入式操作系统 Windows CE 却是例外，只要是在 Windows CE 上开发产品的厂商，均可与 Microsoft 公司签订合同，取得其源代码。采用商用嵌入式操作系统的好处是能得到比较好的技术支持。相关内容将在本书的第 6 章进行较为详细的介绍。

1.4 本章小结

本章主要介绍了嵌入式系统的一些基础知识，包括嵌入式系统的概念、发展历史、基本组成等，并在此基础上介绍了嵌入式系统处理芯片的各种类型和性能特点以及嵌入式操作系统的基本知识，使读者在阅读完本章之后能够对嵌入式系统有一个初步的认识。

思考与练习

1. 什么是嵌入式系统？嵌入式系统有哪些特点？
2. 简述嵌入式系统的发展过程。
3. 从硬件系统来看，嵌入式系统由哪几部分组成？
4. 从软件系统来看，嵌入式系统由哪几部分组成？
5. 嵌入式系统和通用计算机相比有什么特点？
6. 嵌入式处理器有哪几类？
7. ARM 处理器、网络处理器、DSP、FPGA 和片上系统各自的特点是什么？
8. 什么是嵌入式操作系统？什么是实时操作系统？它们各有哪些特点？