

高等院校通用教材

本书配套多媒体教学课件

嵌入式系统

原理与应用技术

主 编 袁志勇 王景存
副主编 章登义 刘树波



北京航空航天大学出版社

高等院校通用教材

嵌入式系统原理与应用技术

主 编 袁志勇 王景存
副主编 章登义 刘树波

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

以当前流行的 S3C2410 嵌入式处理器为核心,介绍嵌入式系统硬件工作原理与接口应用技术、嵌入式程序设计及嵌入式 Linux 基础应用。主要内容有:嵌入式系统概论、ARM9 体系结构、ARM 指令系统时钟及电源管理、中断与定时技术、DMA 技术、串行通信接口、网络接口、人机接口、Linux 操作系统基础、嵌入式 Linux 软件设计、基于 QT/Embedded 的嵌入式 GUI 设计。

本书既可作为高等院校计算机、电子信息、自动化等专业本科生和相关专业研究生的教材,也可作为从事嵌入式系统研究与开发的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理与应用技术/袁志勇,王景存主编.

北京:北京航空航天大学出版社,2009.11

ISBN 978-7-81124-942-2

I. 嵌… II. ①袁…②王… 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(2009)第 188802 号

© 2009,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。
侵权必究。

嵌入式系统原理与应用技术

主 编 袁志勇 王景存

副主编 章登义 刘树波

责任编辑 王 超 贾 涌

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:emsbook@gmail.com

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:24 字数:614 千字

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-942-2 定价:39.00 元

前 言

使用单片机、FPGA/CPLD、DSP、ARM 等实现的产品都可以称为嵌入式产品。嵌入式系统具有软硬件结合和多学科交叉融合的特点,如基于嵌入式技术的智能机器人就是一个多学科交叉融合的例子。选择一款主流嵌入式处理器芯片,以点带面、循序渐进地进行嵌入式系统学习是一条有效的学习途径。鉴于这种考虑,本书以当前流行的 S3C2410 芯片为核心,重点介绍嵌入式系统硬件工作原理及接口应用技术、嵌入式程序设计及嵌入式 Linux 基础应用。现有的嵌入式书籍有些偏重理论,有些偏重介绍硬件或软件,本书是在嵌入式系统学习问卷调查结果的基础上形成的,它不仅兼顾了嵌入式系统硬件和软件基本知识,而且在内容取舍上充分考虑了学生的实际需求。问卷调查结果对本书内容取舍起到了很好的启发作用。

本书由袁志勇、王景存老师任主编,章登义、刘树波老师任副主编。第 1~3 章、第 9 章和附录由袁志勇编写,第 5~7 章、第 10 章由王景存编写,第 4 章和第 8 章由刘树波编写,第 11~13 章由章登义、陈旭辉编写。袁志勇、王景存对全书进行了修改和统稿。研究生鄢月圆、杨东东和邱远军参与了本书的程序调试与图表制作。欧志辉同学组织了本科生嵌入式系统课程学习的问卷调查并制作了本书的部分图表。

作者在编写过程中参考了大量的相关书籍和网站,学到了很多知识并从中受益,在此对参考文献中的作者表示衷心的感谢。感谢北京航空航天大学出版社领导的大力支持以及相关人员对本书出版所付出的辛勤劳动,感谢武汉大学、武汉科技大学等单位领导和教师对本书修改所提出的宝贵意见。

虽然作者有多年从事嵌入式系统教学与研究工作的经历,但由于水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,敬请读者和同行专家们批评指正。有兴趣的读者可以发送电子邮件到 yzypcc@163.com,与作者进一步交流;也可以发送电子邮件到 buaafy@sina.com,与本书策划编辑进行交流。

作 者

2009 年 10 月

本教材还配有教学课件。需要用于教学的教师,请与北京航空航天大学出版社联系。北京航空航天大学出版社联系方式如下:

通信地址:北京海淀区学院路 37 号北京航空航天大学出版社教材推广部

邮 编: 100191

电 话: 010-82339483

传 真: 010-82328026

E-mail: bhkejian@126.com

参考文献

- [1] Raj Kamal. EMBEDDED SYSTEMS ARCHITECTURE PROGRAMMING AND DESIGN [M]. 英文影印版. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 符意德, 陆阳. 嵌入式系统原理及接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [3] 范书瑞, 赵燕飞, 高铁成. ARM 处理器与 C 语言开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [4] 文全刚. 汇编语言程序设计——基于 ARM 体系结构[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [5] 俞建新, 王健, 宋健建. 嵌入式系统基础教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [6] 贾智平, 张瑞华. 嵌入式系统原理与接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [7] 张瑜等. ARM 嵌入式程序设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [8] 于明, 范书瑞, 曾祥焯. ARM9 嵌入式系统设计与开发教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [9] 刘森. 嵌入式系统接口设计与 Linux 驱动程序开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [10] 李新峰, 何广生, 赵秀文. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 开发技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [11] 张思明. 嵌入式系统设计与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [12] 周巍松, 等. Linux 系统分析与高级编程技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999 年.
- [13] 魏洪兴, 胡亮, 曲学楼. 嵌入式系统设计与实例开发实验教材 II——基于 ARM9 微处理器与 Linux 操作系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [14] 马忠梅, 祝烈煌, 李善平, 等. ARM&Linux 嵌入式教程[M]. 第 2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [15] 孙天泽, 袁文菊, 张海峰. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南——基于 ARM9 处理器[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [16] 孙天泽, 袁文菊. 嵌入式系统设计及 Linux 驱动开发指南——基于 ARM9 处理器[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [17] 秦贵和, 徐华中, 王磊. ARM9 嵌入式技术及 Linux 高级实践教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [18] 黄丽娜, 管佩森, 陈彩可. Red Hat Linux 9.4 基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [19] 徐英慧, 马忠梅, 王磊, 等. ARM9 嵌入式系统设计——基于 S3C2410 与 Linux [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [20] 黄涛, 等. 嵌入式实时操作系统移植技术的分析与应用[J]. 计算机应用, 2002, 23(9).
- [21] <http://www.arm.com>.
- [22] <http://www.arm.linux.org.uk>.
- [23] <http://www.embedworld.com>.

目 录

第 1 章 嵌入式系统概论	1
1.1 嵌入式系统简介	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的组成	2
1.1.3 嵌入式系统的应用与发展	5
1.2 嵌入式微处理器	7
1.2.1 嵌入式微处理器分类	7
1.2.2 ARM 嵌入式微处理器	9
1.2.3 嵌入式微处理器选型	11
1.3 嵌入式操作系统	12
1.3.1 概 况	12
1.3.2 Windows CE 简介	13
1.3.3 嵌入式 Linux 简介	14
1.3.4 μ C/OS-II 简介	15
习 题	17
第 2 章 ARM9 体系结构	18
2.1 ARM9 嵌入式微处理器	18
2.1.1 ARM9 的结构特点	18
2.1.2 ARM9 指令集特点	22
2.1.3 ARM9 工作模式	23
2.2 ARM9 存储器组织结构	24
2.2.1 大端存储和小端存储	24
2.2.2 I/O 端口的访问方式	25
2.2.3 内部寄存器	26
2.3 ARM9 异常	31
2.3.1 异常的类型及向量地址	31
2.3.2 异常的优先级	33
2.3.3 进入和退出异常	33
2.4 S3C2410 嵌入式微处理器	36
2.4.1 S3C2410 及片内外围简介	37
2.4.2 S3C2410 引脚信号	38
2.4.3 S3C2410 专用寄存器	43

2.4.4 ARM920T 总线接口单元简介	48
习 题	48
第 3 章 ARM 指令系统	49
3.1 ARM 指令集	49
3.1.1 ARM 指令分类及格式	49
3.1.2 ARM 指令寻址方式	51
3.1.3 常用 ARM 指令	56
3.2 ARM 汇编伪指令与伪操作	70
3.2.1 常用 ARM 汇编伪指令	70
3.2.2 常用 ARM 汇编伪操作	71
3.3 Thumb 指令集简介	76
3.4 ADS 1.2 集成开发环境的使用	76
3.4.1 ADS 1.2 使用介绍	77
3.4.2 使用 ADS 1.2 设计汇编程序举例	78
习 题	84
第 4 章 时钟及电源管理	85
4.1 S3C2410 时钟结构	85
4.2 S3C2410 电源管理模式	85
4.3 相关特殊功能寄存器	89
4.4 常用单元电路设计	93
4.4.1 电源电路设计	93
4.4.2 晶振电路设计	94
4.4.3 复位电路设计	95
习 题	96
第 5 章 存储器与 I/O 接口原理	97
5.1 存储器概述	97
5.1.1 SRAM 和 DRAM	97
5.1.2 NOR Flash 和 NAND Flash	103
5.2 存储系统机制	107
5.2.1 存储器接口方式	107
5.2.2 高速缓存机制(Cache)	108
5.2.3 存储管理单元(MMU)	109
5.3 S3C2410 存储系统	112
5.3.1 S3C2410 存储空间	112
5.3.2 S3C2410 存储器接口设计	118
5.4 S3C2410 I/O 端口	123

5.4.1 I/O 端口控制寄存器	123
5.4.2 I/O 端口应用举例	124
习 题	125
第 6 章 中断与定时技术	126
6.1 中断概述	126
6.1.1 中断向量	126
6.1.2 中断优先级	127
6.1.3 中断屏蔽	127
6.2 S3C2410 中断系统	128
6.2.1 概 述	128
6.2.2 中断控制寄存器	131
6.2.3 中断举例	140
6.3 定时器工作原理	143
6.3.1 概 述	143
6.3.2 工作原理	143
6.4 S3C2410 定时器	144
6.4.1 定时器及 PWM	144
6.4.2 看门狗定时器	153
6.4.3 RTC	155
习 题	164
第 7 章 DMA 技术	165
7.1 DMA 概述	165
7.1.1 DMA 简介	165
7.1.2 DMA 传输过程	165
7.2 S3C2410 DMA	166
7.2.1 DMA 请求源	167
7.2.2 DMA 模式	167
7.2.3 DMA 操作过程	168
7.2.4 DMA 时序	169
7.3 S3C2410 DMA 寄存器	171
7.3.1 传输控制寄存器	171
7.3.2 状态寄存器	175
7.4 DMA 操作编程	176
7.4.1 DMA 操作初始化	176
7.4.2 DMA 操作编程举例	176
习 题	178

第 8 章 串行通信接口	179
8.1 串行通信基础知识	179
8.1.1 串行数据传送模式	179
8.1.2 串行通信方式	180
8.1.3 RS-232C 串行通信接口	182
8.1.4 RS-422 和 RS-485 标准	183
8.2 S3C2410 串行接口	184
8.2.1 S3C2410 UART 结构	184
8.2.2 S3C2410 UART 工作原理	184
8.2.3 S3C2410 UART 专用寄存器	187
8.3 串行通信举例	194
8.3.1 RS-232C 接口设计	194
8.3.2 串口初始化	194
8.3.3 发送/接收程序举例	196
8.4 IIS 串行数字音频接口	197
8.4.1 IIS 接口总线格式	201
8.4.2 IIS 接口应用举例	202
习 题	205
第 9 章 网络接口	206
9.1 网络接口技术概述	206
9.1.1 分布嵌入式系统结构	206
9.1.2 分布嵌入式网络通信方式	208
9.2 IIC 接口	208
9.2.1 IIC 总线	208
9.2.2 S3C2410 IIC 接口	212
9.3 CAN 总线接口	219
9.3.1 CAN 总线	219
9.3.2 CAN 接口	222
9.4 以太网接口	224
9.4.1 嵌入式以太网基础知识	224
9.4.2 S3C2410 以太网接口	230
9.4.3 socket 网络编程	235
9.4.4 嵌入式 Web 服务器程序设计	244
习 题	250
第 10 章 人机接口	251
10.1 键盘接口	251

10.1.1 按键的识别	251
10.1.2 键盘接口举例	252
10.2 LED 显示器	256
10.2.1 LED 显示控制原理	256
10.2.2 LED 接口举例	259
10.3 LCD 接口	261
10.3.1 LCD 显示控制原理	261
10.3.2 S3C2410 LCD 控制器	262
10.3.3 S3C2410 LCD 寄存器	266
10.3.4 LCD 接口举例	272
10.4 ADC 和触摸屏接口	275
10.4.1 触摸屏的种类	275
10.4.2 S3C2410 ADC 和触摸屏	277
10.4.3 ADC 和触摸屏接口举例	281
习 题	286
第 11 章 Linux 操作系统基础	287
11.1 Linux 操作系统概述	287
11.1.1 Linux 的发展历程	287
11.1.2 Linux 的特点	289
11.2 Linux 内核的结构	290
11.2.1 进程管理	290
11.2.2 内存管理	292
11.2.3 虚拟文件系统	293
11.2.4 网络接口	295
11.2.5 进程间通信	295
11.3 Linux 设备管理	297
11.3.1 字符设备	297
11.3.2 块设备	298
11.3.3 可安装模块	299
11.4 Linux 的使用	302
11.4.1 Linux 常用命令	302
11.4.2 vi 编辑器的使用	305
11.4.3 gcc 编译器和 make 工具	308
11.4.4 gdb 调试	311
11.5 Linux 的安装	312
11.5.1 目前流行的 Linux 发行版本	312
11.5.2 Linux 安装在独立的硬盘分区	313
11.5.3 Linux 安装在虚拟机中	313

习 题	313
第 12 章 嵌入式 Linux 软件设计	314
12.1 Bootloader 引导程序	314
12.1.1 Bootloader 的概念	314
12.1.2 Bootloader 的主要过程与典型结构框架	316
12.1.3 常见 Bootloader 简介	318
12.2 Linux 的移植	322
12.2.1 内核移植	322
12.2.2 系统移植	323
12.3 驱动程序开发	324
12.4 应用程序开发	326
12.4.1 建立连接	326
12.4.2 编写应用程序	327
12.4.3 下载应用程序	328
12.4.4 调试应用程序	329
习 题	332
第 13 章 基于 Qt/Embedded 的嵌入式 GUI 设计	333
13.1 嵌入式 GUI 简介	333
13.1.1 Linux 图形领域的基础设施	333
13.1.2 嵌入式 GUI 高级函数库	336
13.1.3 面向嵌入式 Linux 的图形用户界面	337
13.2 创建 Qt/Embedded 嵌入式图形开发环境	340
13.2.1 Qt/Embedded 概述	340
13.2.2 创建 Qt/Embedded 开发环境	342
13.3 Qt/Embedded 的使用	344
13.3.1 信号与插槽	344
13.3.2 窗 体	346
13.3.3 对话框	353
13.4 Qt/Embedded 应用举例	357
13.4.1 Qt/Embedded 开发流程	357
13.4.2 基于 PC 的 Hello 程序	357
13.4.3 发布 Qt/Embedded 程序到目标板	365
习 题	366
附 录	367
参考文献	372

第 1 章 嵌入式系统概论

嵌入式系统是后 PC 时代广泛使用的计算机平台。在日常生活、学习或工作中所接触到的许多仪器设备里都涉及嵌入式系统应用技术,如 MP4、智能手机和机顶盒等。本章简要介绍嵌入式系统基本知识,主要内容有:嵌入式系统基本概念及应用、嵌入式微处理器的分类及选型、嵌入式操作系统。

1.1 嵌入式系统简介

嵌入式系统已经广泛应用于科技领域和日常生活的各个角落,由于其自身的特性,使人们很难发现它的存在。本节从嵌入式系统的定义开始,阐述嵌入式系统的含义、组成及应用领域等,以使读者对嵌入式系统基本概念有比较完整的了解。

1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统是一个较复杂的技术概念,目前国内外关于嵌入式系统尚无严格、统一的定义。*Computers as Components-Principles of Embedded Computing System Design* 一书的作者 Wayne Wolf 认为:如果不严格地定义,嵌入式计算系统是任何一个包含可编程的计算机设备,但是它本身却不是一个通用计算机。*Embedded Microcontrollers* 一书的作者 Todd D. Morton 认为:嵌入式系统是一种电子系统,它包含微处理器或者微控制器,但不认为它是计算机——计算机隐藏或者嵌入在系统中。*An Embedded Software Primer* 一书的作者 Davie E. Simon 认为:人们使用嵌入式系统这个术语,指的是隐藏在任一产品中的计算机系统。*An Introduction to the Design of Small Scale Embedded System with Example from PIC, 80C51 and 68HC05/08 Microcontrollers* 一书的作者 Tim Wilmshurst 认为:嵌入式系统的首要功能并不是计算,而是受嵌入到系统中的计算机控制的一个系统;“嵌入”暗示了它存在于整个系统中,从外部观察不到,形成了更大整体的一个完整部分。

根据美国电气与电子工程师学会 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 的定义,嵌入式系统是用于控制、监视或辅助操作机器和设备的装置(原文: devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。需指出的是,本定义并不能充分体现嵌入式系统的精髓,从根本上说,嵌入式系统的概念应从应用的角度予以阐述。在国内的很多嵌入式网站和相关书籍中,一般都认为嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软/硬件可裁剪,可满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积和功耗有严格要求的专用计算机系统。

与通用计算机系统相比,嵌入式系统具有以下重要特征:

- ▶ 通常是面向特定应用的。具有功耗低、体积小和集成度高等特点。
- ▶ 硬件和软件都必须高效率地设计,量体裁衣,力争在同样的硅片面积上实现更高的性

能,这样才能满足功能、可靠性和功耗的苛刻要求。

- ▶ 实时操作系统支持。尽管嵌入式系统的应用程序可以不需要操作系统的支持就能直接运行,但为了合理调度多任务、充分利用系统资源,用户可以自行选配实时操作系统开发平台。
- ▶ 嵌入式系统与具体应用有机结合在一起,升级换代也是同步进行。因此,嵌入式系统产品一旦进入市场,具有较长的生命周期。
- ▶ 为了提高运行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片中。
- ▶ 专门开发工具的支持。嵌入式系统本身不具备自主开发能力,即使在设计完成以后,用户通常也不能对程序功能进行修改,必须有一套开发工具和环境才能进行嵌入式系统开发。

1.1.2 嵌入式系统的组成

嵌入式系统是指嵌入各种设备及应用产品内部的专用计算机系统,而非 PC 系统。嵌入式系统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应用软件四个部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器是嵌入式系统的核心。嵌入式微处理器通常把通用 PC 中许多由板卡完成的任务集成到芯片内部,这样可以大幅减小系统的体积和功耗,具有质量轻、成本低、可靠性高等优点。由于嵌入式系统通常应用于比较恶劣的工作环境中,因此嵌入式微处理器在工作温度、电磁兼容性及可靠性要求方面都比通用的标准微处理器要高。嵌入式微处理器可按数据总线宽度划分为 8 位、16 位、32 位和 64 位等不同类型,许多大的半导体厂商都推出了自己的嵌入式微处理器,目前比较流行的有 Power PC、MC68000、MIPS、ARM 等。

嵌入式微处理器的体系结构可以采用冯·诺依曼体系结构或哈佛体系结构,指令系统可以选用精简指令集系统 RISC(Reduced Instruction Set Computer)或复杂指令集系统 CISC(Complex Instruction Set Computer)。

(1) 冯·诺依曼体系结构

冯·诺依曼结构的计算机由 CPU 和存储器构成,其程序和数据共用一个存储空间,程序指令存储地址和数据存储地址指向同一个存储器的不同物理位置;采用单一的地址及数据总线,程序指令和数据的宽度相同。

程序计数器(PC)是 CPU 内部指示指令和数据的存储位置的寄存器。CPU 通过程序计数器提供的地址信息,对存储器进行寻址,找到所需要的指令或数据,然后对指令进行译码,最后执行指令规定的操作。处理器执行指令时,先从存储器中取出指令译码,再取操作数执行运算,即使单条指令也要耗费几个甚至几十个周期,在高速运算时,在传输通道上会出现瓶颈效应。

目前使用冯·诺依曼结构的 CPU 和嵌入式微处理器品种有很多,如 Intel 公司的 80x86 系列及其他 CPU,ARM 公司的 ARM7,MIPS 公司的 MIPS 处理器等。

(2) 哈佛结构

哈佛(Harvard)结构的主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中,即程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器,每个存储器独立编址、独立访问。系统中具有程序的数据总线与地址总线,数据的数据总线与地址总线。这种分离的程序总线 and 数据总线可允许在一个机器周期内同时获取指令字(来自程序存储器)和操作数(来自数据存储器),从而提高执行速度,提高数据的吞吐率。又由于程序和数据存储器在两个分开的物理空间中,因此取指和执行能完全重叠,具有较高的执行效率。

目前,使用哈佛结构的嵌入式处理器和微控制器品种有很多,除 DSP 处理器外,还有 Freescale 公司的 MC68 系列、Zilog 公司的 Z8 系列、Atmel 公司的 AVR 系列,以及 ARM 公司的 ARM9、ARM10 和 ARM11 等。

(3) 精简指令集计算机

早期的计算机采用复杂指令集计算机(CISC)体系,如 Intel 公司的 80x86 系列 CPU,从 8086 到 Pentium 系列,采用的都是典型的 CISC 体系结构。采用 CISC 体系结构的计算机各种指令的使用频率相差悬殊,统计表明,大概有 20% 比较简单的指令被反复使用,使用量约占整个程序的 80%;而有 80% 左右的指令则很少使用,其使用量约占整个程序的 20%,即指令的 2/8 规律。在 CISC 中,为了支持目标程序的优化,支持高级语言和编译程序,增加了许多复杂的指令,用一条指令来代替一串指令。通过增强指令系统的功能,虽然简化了软件,却增加了硬件的复杂程度。而这些复杂指令并不等于有利于缩短程序的执行时间。在 VLSI 制造工艺中要求 CPU 控制逻辑具有规整性,而 CISC 为了实现大量复杂的指令,控制逻辑极不规整,给 VLSI 工艺造成很大困难。

精简指令集计算机 RISC(Reduced Instruction Set Computer)体系结构于 20 世纪 80 年代提出,RISC 是在 CISC 的基础上产生并发展起来的。RISC 的着眼点不是简单地放在简化指令系统上,而是通过简化指令系统使计算机的结构更加简单合理,从而提高运算效率。在 RISC 中,优先选取使用频率最高的、很有用但不复杂的指令,避免使用复杂指令;固定指令长度,减少指令格式和寻址方式种类;指令之间各字段的划分比较一致,各字段的功能也比较规整;采用 Load/Store 指令访问存储器,其余指令的操作都在寄存器之间进行;增加 CPU 中通用寄存器数量,算术逻辑运算指令的操作数都在通用寄存器中存取;大部分指令控制在一个或小于一个机器周期内完成;以硬布线控制逻辑为主,不用或少用微码控制;采用高级语言编程,重视编译优化工作,以缩短程序执行时间。

尽管 RISC 架构与 CISC 架构相比有较多的优点,但 RISC 架构并不能取代 CISC 架构。事实上,RISC 和 CISC 各有优势。现代的 CPU 往往采用 CISC 的外围,内部加入了 RISC 的特性,如超长指令集 CPU 就是融合了 RISC 和 CISC 两者的优势,成为未来的 CPU 发展方向之一。在 PC 和服务器的领域,CISC 体系结构是市场的主流。在嵌入式系统领域,RISC 结构的微处理器将占有重要的位置。

2. 外围硬件设备

嵌入式硬件系统通常是以嵌入式微处理器为中心,包含电源电路、时钟电路和存储器电路的电路模块,其中操作系统和应用程序都固化在模块的 ROM/Flash 中。外围硬件设备是指在嵌入式硬件系统中,除嵌入式微处理器以外的完成存储、显示、通信、调试等功能的部件。根

据外围硬件设备的功能可分为存储器(ROM、SRAM、DRAM 和 Flash 等)和接口(并行口、RS-232 串口、IrDA 红外接口、IIC、IIS、USB、CAN、以太网、LCD、键盘、触摸屏、A/D 和 D/A 等)两大类。

3. 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统 EOS(Embedded Operating System)是一种用途广泛的系统软件,它负责嵌入式系统的全部软、硬件资源的分配、调度、控制和协调。嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点,如:能够有效管理越来越复杂的系统资源;能够把硬件虚拟化,使开发人员从繁忙的驱动程序移植和维护中解脱出来;能够提供库函数、驱动程序、工具集以及应用程序。

嵌入式操作系统除具备一般操作系统的最基本特点外,还具有以下特点:

- ▶ 强稳定性,弱交互性。嵌入式系统一旦开始运行就不需要用户过多的干预,这就要求负责系统管理的嵌入式操作系统具有很强的稳定性。
- ▶ 较强的实时性。嵌入式系统实时性一般较强,可用于各种设备的控制中。
- ▶ 可伸缩性。嵌入式系统具有开放、可伸缩性的体系结构。
- ▶ 外围硬件接口的统一性。嵌入式操作系统提供了许多外围硬件设备驱动接口。

由于嵌入式系统中的存储器容量有限,嵌入式操作系统核心通常较小。不同的应用场合,用户会选用不同特点的嵌入式操作系统,但无论采用哪一种嵌入式操作系统,它都有一个核心(kernel)和一些系统服务(system service)。嵌入式操作系统必须提供一些系统服务供应用程序调用,包括文件系统、内存分配、I/O 存取服务、中断服务、任务(task)服务和定时(timer)服务等,设备驱动程序(device driver)则是建立在 I/O 存取和中断服务基础之上的。有些嵌入式操作系统也会提供多种通信协议以及用户接口函数库等。嵌入式操作系统的性能通常取决于核心程序,而核心的工作主要在任务管理(task management)、任务调度(task scheduling)、进程间通信(IPC)及内存管理(memory management)中。

在工业控制领域,一般对嵌入式系统有实时性方面的要求。根据响应时间的不同,嵌入式操作系统可分为以下 3 类:

- ① 强实时嵌入式操作系统(系统响应时间在微秒或毫秒级);
- ② 一般实时嵌入式操作系统(系统响应时间在毫秒至几秒数量级,实时性要求没有强实时系统要求高);
- ③ 弱实时嵌入式操作系统(系统响应时间在数十秒或更长)。

4. 应用软件

嵌入式系统的应用软件是设计人员针对专门的应用领域而设计的应用程序。通常,设计人员把嵌入式操作系统和应用软件组合在一起,作为一个有机的整体存在。

嵌入式系统软件的要求与 PC 有所不同,其主要特点如下:

- ▶ 软件要求固态化存储;
- ▶ 软件代码要求高效率、高可靠性;
- ▶ 系统软件(嵌入式操作系统)有较高的实时性要求。

1.1.3 嵌入式系统的应用与发展

嵌入式系统的应用已逐步渗透到金融、航天、电信、网络、信息家电、医疗、工业控制及军事等各个领域,以至于一些学者断言,嵌入式系统将成为后PC时代的主宰。形式多样的嵌入式系统与移动通信、传感器网络等技术一道,改变了现有的计算环境。

嵌入式系统的应用按照市场领域划分,可以分为以下几类。

1. 信息家电

信息家电是一种价格低廉、操作简便、实用性强,并带有PC主要功能的家电产品,是利用计算机、电信和电子技术与传统家电(包括白色家电:电冰箱、洗衣机、微波炉等;黑色家电:电视机、录像机、音响、VCD、DVD等)相结合的创新产品,是为数字化与网络技术更广泛地深入家庭生活而设计的新型家用电器。信息家电包括PC、机顶盒、HPC、DVD、超级VCD、无线数据通信设备、视频游戏设备、WebTV及网络电话等,所有能够通过网络系统交互信息的家电产品,都可以称为信息家电。目前,音频、视频和通信设备是信息家电的主要组成部分。另一方面,在目前传统家电的基础上,将信息技术融入传统的家电中,使其功能更加强大,使用更加简单、方便和实用,为家庭创造更高品质的生活环境,比如模拟电视发展成数字电视,VCD变成DVD,电冰箱、洗衣机和微波炉等也将会变成数字化、网络化和智能化的信息家电。

从广义的分类来看,信息家电产品实际上包含了网络家电产品,但如果从狭义的定义来界定,可以这样简单分类:信息家电主要指带有嵌入式微处理器的小型家用信息设备,它的基本特征是与网络(主要指互联网)相连而有一些具体功能,可以是成套产品,也可以是一个辅助配件。而网络家电则指具有网络操作功能的家电类产品,这种家电可以理解为原来普通家电产品的升级。

2. 汽车电子

汽车电子是车体汽车电子控制装置和车载汽车电子控制装置的总称。车体汽车电子控制装置包括发动机控制系统、底盘控制系统和车身电子控制系统,车身电子控制系统的核心硬件是嵌入式微处理器。汽车电子最显著特征是向控制系统化推进,是用传感器、嵌入式微处理器、执行器、数十甚至上百个电子元器件及零部件组成的电控系统。车载汽车电子包括汽车信息系统、汽车导航系统和汽车娱乐系统等。

目前,嵌入式微电子技术发展的方向是向集中综合控制方向发展:将发动机管理系统和自动变速器控制系统,集成为动力传动系统的综合控制(PCM);将制动防抱死控制系统(ABS)、牵引力控制系统(TCS)和驱动防滑控制系统(ASR)综合在一起进行制动控制;通过中央底盘控制器,将制动、悬架、转向和动力传动等控制系统通过总线进行连接。控制器通过复杂的控制运算,对各子系统进行协调,将车辆行驶性能控制到最佳水平,形成一体化底盘控制系统(UCC)。

3. 工业控制

过去,在工业过程控制、数字机床、电力系统、电网安全、电网设备监测和石油化工系统等

方面,大部分低端设备主要采用 8 位单片机。目前,工业设备的微控制器通常采用 16 位以上的嵌入式微处理器。随着嵌入式技术的不断发展,32 位和 64 位嵌入式微处理器将逐渐成为工业控制设备的核心。

4. 机器人

随着嵌入式系统和机器人技术的普及和发展,机器人本体功能越来越趋于模块化、智能化、微型化。同时,机器人的价格也在大幅度下降,使其在军事、工业、家庭和医疗等领域获得更广泛的应用。例如,国内最近开发了一种“医疗服务机器人”,其核心部件主要由 CPLD 和多个 EMCU 组成。它可将大脑脱离机器人本体并置于母环境中,采用无线通信与本体进行交互;而服务机器人本体中的小脑具体实现接收机器人本体发出的各种命令,控制机器人各个执行和感知机构,进而实现机器人本体各个功能模块之间相互协调配合的功能。

5. 军事国防领域

军事国防历来就是嵌入式系统的重要应用领域。20 世纪 70 年代,嵌入式计算机系统应用在武器控制系统中,后来用于军事指挥控制和通信系统。目前,在各种武器控制装置(火炮、导弹和智能炸弹制导引爆等控制装置)、坦克、舰艇、轰炸机、陆海空各种军用电子装备、雷达、电子对抗装备、军事通信装备、野战指挥作战用各种专用设备等等,都可以看到嵌入式系统的身影。使用嵌入式技术的武器曾为美军在伊拉克战争中发挥重要的作用。

6. 医疗仪器

嵌入式系统在医疗仪器中的应用普及率极高。在设计过程中,根据需要对嵌入式系统重新编程,可避免前端流片(NRE)成本,减少和 ASIC 相关的订量,降低芯片多次试制的巨大风险。此外,随着标准的发展或者当需求出现变化时,还可以在现场更新,而且设计人员能够反复使用公共硬件平台,在一个基本设计基础上,建立不同的系统,支持各种功能,从而大大降低生产成本。使产品具有较长的生命周期,可以保护医疗仪器不会太快过时,医疗行业的产品生命周期比较长,因此这一特性非常重要。现代数字医疗仪器设备不但包括诊疗设备,而且还有数据存储服务器和接口软件。嵌入式系统可为医疗仪器设备设计、生产和使用提供先进的技术支持。

当今,嵌入式系统的发展已经进入大融合的时代,其特点如下:

- ▶ 通信、计算机及消费电子产品(3C)融合——趋向没有独立的 3C,只有融合的 3C,即信息产品(IA);
- ▶ 数字模拟融合、微机电融合、电路板硅片融合及硬软件设计融合——趋向 SoC 和 SiP;
- ▶ 嵌入式整机的开发工作也从传统的硬件为主变为软件为主;
- ▶ 激烈的市场竞争和技术进步呼唤着新颖的产品开发平台,特别是 SoC 开发平台的出现。

随着嵌入式技术的不断发展,嵌入式系统将更广泛应用于人类生活的各个方面。如基于嵌入式 Internet 网络的地球电子皮肤,可以嵌入到牙齿上的手机都在研发之列。我国著名嵌入式系统专家沈绪榜院士认为:计算机是认识世界的工具,而嵌入式系统则是改造世界的产物。