

“十一五”高等院校规划教材



ARM9 嵌入式系统 设计基础教程

黄智伟 邓月明 王彦 编著



北京航空航天大学出版社

TP316.24
501
101

“十一五”高等院校规划教材

ARM9 嵌入式系统设计基础教程

黄智伟 邓月明 王彦 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书系统介绍了嵌入式系统的基础知识,ARM 体系结构,32 位 RISC 微处理器 S3C2410A,嵌入式系统的存储器系统,嵌入式系统输入/输出设备接口,嵌入式系统总线接口,嵌入式系统网络接口,嵌入式系统软件及操作系统基础,ARM 汇编语言程序设计基础,Bootloader 设计基础,Linux 操作系统基础,嵌入式 Linux 软件设计,图形用户接口(GUI)。每章都附有思考题与习题。免费提供电子课件。

本书内容丰富实用,层次清晰,叙述详尽,方便教学与自学,可作为高等院校电子信息工程、通信工程、自动控制、电气自动化、计算机科学与技术等专业进行嵌入式系统教学的教材,也可作为全国大学生电子设计竞赛培训教材,以及工程技术人员进行嵌入式系统开发与应用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ARM9 嵌入式系统设计基础教程/黄智伟,邓月明,王彦编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81124-337-6

I. A… II. ①黄…②邓…③王… III. 微处理器,ARM—系统设计—教材 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 114124 号

©2008,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本书内容。侵权必究。

ARM9 嵌入式系统设计基础教程

黄智伟 邓月明 王彦 编著

责任编辑 张冀青

*

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(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:29.75 字数:666 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-337-6 定价:45.00 元

前 言

本书是为高等院校电子信息工程、通信工程、自动控制、电气自动化、计算机科学与技术等专业编写的嵌入式系统设计、开发与应用的通用教材,也可作为全国大学生电子设计竞赛培训教材,以及工程技术人员进行嵌入式系统开发与应用的参考书。

本书的特点是以 ARM9 微处理器的 S3C2410A 为基础,突出嵌入式系统的基础知识,突出嵌入式系统的存储器、输入/输出接口、总线接口的电路设计与编程,突出采用 ARM 汇编语言和嵌入式 Linux 的编程方法,突出图形用户接口(GUI)工具的使用,内容丰富实用,叙述详尽清晰,方便教学与自学,与嵌入式系统实验教学结合,有利于学生掌握嵌入式系统的设计方法,培养学生综合分析、开发创新和工程设计的能力。

全书共分 13 章。

第 1 章介绍了嵌入式系统的定义和组成、嵌入式微处理器体系结构和类型。

第 2 章介绍了 ARM 微处理器结构、寄存器结构、异常处理、存储器结构、指令系统和接口。

第 3 章介绍了 S3C2410A 的存储器控制器、时钟和电源管理、I/O 口、中断控制、DMA 控制器的内部结构和寄存器以及编程方法。

第 4 章介绍了嵌入式系统存储设备分类与层次结构、NOR Flash 接口、NAND Flash 接口、SDRAM 接口、CF 卡接口、SD 卡接口、IDE 接口的基本原理、电路结构与读/写操作方法。

第 5 章介绍了嵌入式系统的 GPIO、A/D 转换器接口、D/A 转换器接口、键盘与 LED 数码管接口、LCD 显示接口、触摸屏接口的基本原理、电路结构与编程方法。

第 6 章介绍了嵌入式系统的串行接口、I²C 接口、USB 接口、SPI 接口、PCI 接口、I²S 总线接口的基本原理、电路结构与编程方法。

第 7 章介绍了嵌入式系统网络接口,包含有以太网接口、CAN 总线接口的基本原理、电路结构与编程方法。

第 8 章介绍了嵌入式软件的特点、分类、体系结构,嵌入式操作系统的功能和分类,嵌入式系统的任务管理、存储管理、输入/输出设备管理。

第 9 章介绍了 ADS IDE 的组成与使用,ARM 汇编伪指令,ARM 的汇编语言结构,ARM 汇编语言程序调试,ARM 汇编语言与 C 语言混合编程等 ARM 汇编语言程序设计基础知识。

前 言

第 10 章介绍了 Bootloader 的作用、工作模式和启动流程, S3C2410 平台下 Linux 的 Bootloader, Windows CE 的 Bootloader 和 Blob。

第 11 章介绍了嵌入式 Linux 的开发环境, 桌面 Linux 的安装和使用, Linux 内核结构、目录结构、文件系统等 Linux 操作系统基础知识。

第 12 章介绍了 Bootloader 的移植, 嵌入式 Linux 内核和文件系统的移植, Linux 下设备驱动程序的开发, 应用程序开发。

第 13 章介绍了图形用户接口(GUI)的层次结构, 桌面 Linux 系统 GUI, 嵌入式 Linux 系统 GUI, MiniGUI 的开发环境、移植、应用编程库和应用程序编写方法, Qt/Embedded, Qt 开发及运行环境的创建和 Qt 应用程序的开发。

每章都附有思考题与习题。

本书提供多媒体课件, 可以登录北京航空航天大学出版社下载中心 <http://www.buaa-press.com.cn/buaa/html/download/index.asp> 免费下载。

本书是北京航空航天大学出版社组织出版的“十一五”高等院校规划教材系列之一。由黄智伟拟订编写了本书大纲和目录。黄智伟编写了第 1~8 章内容。邓月明编写了第 9~13 章内容。南华大学王彦副教授、朱卫华副教授、陈文光副教授、李富英高级工程师、李圣、曾力、潘策荣, 南华大学电子信息工程专业 04 级的刘聪、李扬宗、肖志刚、汤柯夫、樊亮, 通信工程专业 04 级的赵俊、王永栋、晏子凯、何超、万勤斌, 湖南师范大学电子信息工程专业 04 级的王康斌, 通信工程专业 04 级的彭德润, 05 级的邓伟、肖雅斌等人为本书的编写做了大量的工作, 在此一并表示衷心的感谢。同时感谢湖南省教育厅科学研究项目(07C577)课题组, 南华大学高等教育研究与改革课题(06Y05)对本书出版的支持。

本书在编写过程中, 参考了大量的国内外著作和资料, 得到了许多专家和学者的大力支持, 听取了多方面的宝贵意见和建议, 在此对他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促和水平所限, 本书难免有疏漏和不足之处, 敬请各位读者批评指正。

黄智伟

2008. 4. 18

于南华大学

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础知识

1.1 嵌入式系统的定义和组成	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的发展趋势	1
1.1.3 嵌入式系统的组成	3
1.1.4 RTOS	6
1.2 嵌入式微处理器体系结构	8
1.2.1 冯·诺依曼结构与哈佛结构	8
1.2.2 精简指令集计算机	9
1.2.3 流水线技术	10
1.2.4 信息存储的字节顺序	11
1.3 嵌入式微处理器的结构和类型	13
1.3.1 嵌入式微控制器	13
1.3.2 嵌入式微处理器	14
1.3.3 DSP 处理器	17
1.3.4 嵌入式片上系统	17
1.3.5 多核处理器	18
思考题与习题	18

第 2 章 ARM 体系结构

2.1 ARM 体系结构简介	20
2.2 ARM 微处理器结构	23
2.2.1 ARM7 微处理器	23

目 录

2.2.2	ARM9 微处理器	24
2.2.3	ARM9E 微处理器	25
2.2.4	ARM10E 微处理器	26
2.2.5	SecurCore 微处理器	26
2.2.6	StrongARM 微处理器	26
2.2.7	XScale 微处理器	27
2.3	ARM 微处理器的寄存器结构	27
2.3.1	处理器的运行模式	27
2.3.2	处理器的工作状态	28
2.3.3	处理器的寄存器组织	28
2.3.4	Thumb 状态的寄存器集	32
2.4	ARM 微处理器的异常处理	33
2.4.1	ARM 体系结构的异常类型	33
2.4.2	异常类型的含义	34
2.4.3	异常的响应过程	35
2.4.4	应用程序中的异常处理	35
2.5	ARM 的存储器结构	35
2.6	ARM 微处理器指令系统	37
2.6.1	基本寻址方式	37
2.6.2	ARM 指令集	40
2.6.3	Thumb 指令集	46
2.7	ARM 微处理器的接口	49
2.7.1	ARM 协处理器接口	49
2.7.2	ARM AMBA 接口	50
2.7.3	ARM I/O 结构	51
2.7.4	ARM JTAG 调试接口	52
	思考题与习题	54

第 3 章 32 位 RISC 微处理器 S3C2410A

3.1	S3C2410A 简介	57
3.1.1	S3C2410A 的内部结构	57
3.1.2	S3C2410A 的技术特点	58
3.2	S3C2410A 存储器控制器	63
3.2.1	S3C2410A 存储器控制器特性	63

3.2.2 S3C2410A 存储器映射	63
3.3 复位、时钟和电源管理	65
3.4 S3C2410A 的 I/O 口	68
3.4.1 S3C2410A 的 I/O 口配置	68
3.4.2 S3C2410A 的 I/O 口寄存器	71
3.5 S3C2410A 的中断控制	76
3.5.1 ARM 系统的中断处理	76
3.5.2 S3C2410A 的中断控制器	77
3.5.3 S3C2410A 的中断编程实例	80
3.6 S3C2410A 的 DMA 控制	81
3.6.1 DMA 工作原理	81
3.6.2 S3C2410A 的 DMA 控制器	82
3.6.3 S3C2410A 的 DMA 编程实例	87
思考题与习题	88

第 4 章 嵌入式系统的存储器系统

4.1 存储器系统概述	89
4.1.1 存储器系统的层次结构	89
4.1.2 高速缓冲存储器	90
4.1.3 存储管理单元	90
4.2 嵌入式系统存储设备分类	92
4.2.1 存储器部件的分类	92
4.2.2 存储器的组织和结构	92
4.2.3 常见的嵌入式系统存储器	93
4.3 NOR Flash 接口电路	96
4.3.1 NOR Flash 存储器 Am29LV160D	96
4.3.2 S3C2410A 与 NOR Flash 存储器的接口电路	97
4.4 NAND Flash 接口电路	99
4.4.1 S3C2410A NAND Flash 控制器	99
4.4.2 S3C2410A 与 NAND Flash 存储器的接口电路	101
4.5 SDRAM 接口电路	102
4.6 CF 卡接口电路	105
4.6.1 PCMCIA 接口规范	105
4.6.2 S3C2410A 的 CF 卡接口电路	105

4.6.3	CF 卡的读/写操作	106
4.7	SD 卡接口电路	107
4.7.1	SD 卡的接口规范	107
4.7.2	S3C2410A 的 SD 卡接口电路	108
4.8	IDE 接口电路	109
4.8.1	S3C2410A 的 IDE 接口电路	109
4.8.2	IDE 硬盘读/写操作	109
	思考题与习题	112
第 5 章 嵌入式系统输入/输出设备接口		
5.1	通用输入/输出接口	114
5.1.1	通用输入/输出接口原理与结构	114
5.1.2	S3C2410A 输入/输出接口编程实例	115
5.2	A/D 转换器接口	117
5.2.1	A/D 转换的方法和原理	117
5.2.2	S3C2410A 的 A/D 转换器	119
5.2.3	S3C2410A A/D 接口编程实例	123
5.3	D/A 转换器接口	125
5.3.1	D/A 转换器的工作原理	125
5.3.2	S3C2410A 与 D/A 转换器的接口电路	128
5.4	键盘与 LED 数码管接口	129
5.4.1	键盘与 LED 数码管接口基本原理与结构	129
5.4.2	用 I/O 口实现键盘接口	131
5.4.3	采用专用芯片实现键盘及 LED 接口	132
5.5	LCD 显示接口	135
5.5.1	LCD 显示接口原理与结构	135
5.5.2	S3C2410A 的 LCD 控制器	137
5.5.3	S3C2410A LCD 显示的编程实例	146
5.6	触摸屏接口	149
5.6.1	触摸屏工作原理与结构	149
5.6.2	采用专用芯片的触摸屏控制接口	150
5.6.3	S3C2410A 的触摸屏接口电路	151
	思考题与习题	156

第 6 章 嵌入式系统总线接口

6.1 串行接口	158
6.1.1 串行接口基本原理与结构	158
6.1.2 S3C2410A 的 UART	162
6.1.3 与 S3C2410A 的 UART 连接的串行接口电路	168
6.1.4 S3C2410A 的 UART 编程实例	170
6.2 I ² C 接口	174
6.2.1 I ² C 接口基本原理与结构	174
6.2.2 S3C2410A 的 I ² C 接口	175
6.2.3 S3C2410A 的 I ² C 接口应用实例	177
6.3 USB 接口	181
6.3.1 USB 接口基本原理与结构	181
6.3.2 S3C2410A 的 USB 控制器	184
6.3.3 S3C2410A 的 USB 接口电路与驱动程序	185
6.4 SPI 接口	187
6.4.1 SPI 接口基本原理与结构	187
6.4.2 S3C2410A 的 SPI 接口电路	189
6.4.3 S3C2410A 的 SPI 接口编程实例	194
6.5 PCI 接口	196
6.5.1 PCI 接口基本结构	196
6.5.2 PCI 接口电路	198
6.6 I ² S 总线接口	200
6.6.1 数字音频简介	200
6.6.2 I ² S 总线结构	202
6.6.3 S3C2410A 的 I ² S 总线接口	204
6.6.4 S3C2410A 的 I ² S 总线接口电路与编程	208
思考题与习题	210

第 7 章 嵌入式系统网络接口

7.1 以太网接口	212
7.1.1 以太网基础知识	212
7.1.2 嵌入式以太网接口的实现方法	214
7.1.3 在嵌入式系统中主要处理的以太网协议	215

目 录

7.1.4	网络编程接口	217
7.1.5	以太网的物理层接口及编程	217
7.2	CAN 总线接口	223
7.2.1	CAN 总线概述	223
7.2.2	在嵌入式处理器上扩展 CAN 总线接口	224
7.2.3	S3C2410A 与 MCP2510 的 CAN 通信接口电路	229
	思考题与习题	230
第 8 章 嵌入式系统软件及操作系统基础		
8.1	嵌入式软件基础	232
8.1.1	嵌入式软件的特点	232
8.1.2	嵌入式软件分类	233
8.1.3	嵌入式软件的体系结构	233
8.1.4	嵌入式系统的设备驱动层	235
8.1.5	嵌入式中间件	237
8.2	嵌入式操作系统基础	237
8.2.1	嵌入式操作系统的功能	237
8.2.2	嵌入式操作系统的分类	238
8.2.3	常见的嵌入式操作系统简介	240
8.3	嵌入式系统的任务管理	242
8.3.1	单道程序设计和多道程序设计	242
8.3.2	进程、线程和任务	243
8.3.3	任务的实现	245
8.3.4	任务的调度	248
8.3.5	实时系统调度	250
8.4	嵌入式系统的存储管理	252
8.4.1	嵌入式存储管理方式的特点	252
8.4.2	存储管理的实模式与保护模式	252
8.4.3	分区存储管理	253
8.4.4	地址映射	254
8.4.5	页式存储管理	255
8.4.6	虚拟页式存储管理	256
8.5	I/O 设备管理	257
8.5.1	I/O 编址	257

8.5.2 I/O 设备的控制方式	258
8.5.3 I/O 软件	258
思考题与习题	260
第 9 章 ARM 汇编语言程序设计基础	
9.1 ADS 集成开发环境	262
9.1.1 ADS 工具包的组成	262
9.1.2 ADS 开发工具集	264
9.1.3 Code Warrior IDE 的创建	266
9.1.4 AXD 调试器的使用	271
9.2 ARM 汇编伪指令	272
9.2.1 数据常量定义伪指令	273
9.2.2 数据变量定义伪指令	273
9.2.3 内存分配伪指令	274
9.2.4 汇编控制伪指令	277
9.2.5 其他常用的伪指令	279
9.3 ARM 的汇编语言结构	283
9.3.1 ARM 汇编语言程序结构	283
9.3.2 ARM 汇编语言的语句格式	284
9.3.3 基于 Windows 下 ADS 的汇编语言程序结构	285
9.3.4 基于 Linux 下 GCC 的汇编语言程序结构	286
9.4 ARM 汇编语言程序调试	287
9.4.1 ADS 软件模拟环境下的程序调试	287
9.4.2 ADS 硬件仿真器环境下的程序调试	288
9.4.3 ADS Wiggler 调试电缆环境下的程序调试	290
9.4.4 Linux 环境下的 gdb 程序调试	291
9.5 ARM 汇编语言与 C 语言混合编程	294
9.5.1 基本的 ATPCS	294
9.5.2 汇编程序中调用 C 程序	296
9.5.3 C 程序中调用汇编程序	296
9.5.4 C 程序中内嵌汇编语句	297
9.5.5 从汇编程序中访问 C 程序变量	298
思考题与习题	299

第 10 章 Bootloader 设计基础

10.1 Bootloader 概述	301
10.1.1 Bootloader 的作用	301
10.1.2 Bootloader 的工作模式	303
10.1.3 Bootloader 的启动流程	304
10.2 S3C2410 平台下 Linux 的 Bootloader	306
10.2.1 vivi	306
10.2.2 U-boot	324
10.3 其他常见的 Bootloader	327
10.3.1 Windows CE.NET 的 Bootloader	327
10.3.2 Blob	329
思考与习题	330

第 11 章 Linux 操作系统基础

11.1 嵌入式 Linux 的开发环境	331
11.1.1 交叉开发概述	331
11.1.2 桌面 Linux 的开发工具链	332
11.1.3 嵌入式 Linux 的交叉开发工具链	333
11.2 桌面 Linux 的安装	337
11.2.1 双操作系统环境	337
11.2.2 Cygwin 模拟环境	338
11.2.3 VMware 虚拟机环境	338
11.3 Linux 的使用	339
11.3.1 Linux 基本命令	339
11.3.2 vi 编辑器的使用	354
11.3.3 gcc 编译器	357
11.3.4 make 工具和 Makefile 文件	358
11.4 Linux 内核结构	362
11.4.1 核心子系统	362
11.4.2 设备驱动程序	364
11.5 Linux 目录结构	366
11.5.1 Linux 源文件的目录结构	366
11.5.2 Linux 运行系统的目录结构	368

11.6 Linux 文件系统	369
11.6.1 文件系统与内核的关系	369
11.6.2 常见通用 Linux 文件系统	371
11.6.3 常见嵌入式 Linux 文件系统	372
11.6.4 根文件系统的选择	375
思考题与习题	376
第 12 章 嵌入式 Linux 软件设计	
12.1 移植的基本概念	377
12.2 Bootloader 的移植	378
12.2.1 关键文件的修改	378
12.2.2 串口设置示例	380
12.2.3 Bootloader 的交叉编译	381
12.2.4 Bootloader 的下载	382
12.3 嵌入式 Linux 内核的移植	384
12.3.1 内核移植的准备	384
12.3.2 关键文件的修改	384
12.3.3 内核的配置与裁剪	389
12.3.4 内核的编译	391
12.3.5 内核的下载	392
12.4 嵌入式 Linux 文件系统的移植	393
12.5 Linux 下设备驱动程序的开发	394
12.5.1 驱动程序概述	394
12.5.2 重要的数据结构和函数	397
12.5.3 字符设备驱动程序的组成	401
12.5.4 动态加载方式和静态加载方式	403
12.5.5 字符设备驱动开发示例	406
12.6 应用程序开发	411
12.6.1 应用程序的加载方式	411
12.6.2 应用程序的 GDB/GDBSERVER 联机调试	416
12.6.3 字符设备应用程序的开发	419
思考题与习题	420

第 13 章 图形用户接口(GUI)

13.1 图形用户接口的层次结构	421
13.1.1 图形基础设施	421
13.1.2 高级图形函数库	422
13.1.3 GUI 窗口管理系统	423
13.2 桌面 Linux 系统 GUI	423
13.2.1 KDE	423
13.2.2 GNOME	425
13.3 嵌入式 Linux 系统 GUI	426
13.3.1 MiniGUI	427
13.3.2 Qtopia	428
13.3.3 Nano - X	429
13.4 MiniGUI 的开发初步	430
13.4.1 MiniGUI 的开发环境	430
13.4.2 MiniGUI 的移植	431
13.4.3 MiniGUI 应用编程库	435
13.4.4 应用程序编写示例	435
13.5 Qt/E	440
13.5.1 Qt/E 的应用架构	440
13.5.2 QVFB 虚拟运行环境	441
13.6 Qt 开发及运行环境的创建	442
13.6.1 Qt/E 应用程序在 PC 机虚拟平台上的运行	442
13.6.2 Qt/E 应用程序在嵌入式设备中的运行	444
13.6.3 Qtopia 窗口系统在 PC 机虚拟平台上的运行	447
13.6.4 Qtopia 窗口系统在嵌入式设备中的运行	448
13.7 Qt 应用程序的开发	451
13.7.1 Qt/E 基本控件	451
13.7.2 开发工具 Qt Designer 介绍	453
13.7.3 控制台上的 Qt/E 应用编程	454
13.7.4 Qtopia 上的 Qt/E 应用编程	458
思考题与习题	459
参考文献	461

第 1 章

嵌入式系统基础知识

1.1 嵌入式系统的定义和组成

1.1.1 嵌入式系统的定义

根据国际电气和电子工程师协会(IEEE)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”,原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants。

目前,国内普遍认同的定义是: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、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

北京航空航天大学的何立民教授是这样定义嵌入式系统的:“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。

可以这样认为,嵌入式系统是一种专用的计算机系统,作为装置或设备的一部分。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程序 4 个部分组成。“嵌入性”、“专用性”和“计算机系统”是嵌入式系统的 3 个基本要素,对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

嵌入式系统无处不在,在移动电话、数码照相机、MP4、数字电视的机顶盒、微波炉、汽车内部的喷油控制系统、防抱死制动系统等装置或设备都使用了嵌入式系统。

1.1.2 嵌入式系统的发展趋势

1. 嵌入式系统的发展历史

从单片机的出现到今天各种嵌入式微处理器、微控制器的广泛应用,嵌入式系统的应用可以追溯到 20 世纪 60 年代中期,例如阿波罗飞船的导航控制系统 AGC(Apollo Guidance Computer)。嵌入式系统的发展历程,大致经历了以下 4 个阶段。

(1) 无操作系统阶段

单片机是最早应用的嵌入式系统。单片机作为各类工业控制和飞机、导弹等武器装备中

第 1 章 嵌入式系统基础知识

的微控制器,用来执行一些单线程的程序,完成监测、伺服和设备指示等多种功能,一般没有操作系统的支持,程序设计采用汇编语言。由单片机构成的这种嵌入式系统使用简便,价格低廉,在工业控制领域中得到了非常广泛的应用。

(2) 简单操作系统阶段

20 世纪 80 年代,出现了大量具有高可靠性、低功耗的嵌入式 CPU,如 Power PC 等。这些芯片上集成有微处理器、I/O 接口、串行接口及 RAM、ROM 等部件。同时,面向 I/O 设计的微控制器开始在嵌入式系统中设计应用。一些简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展,程序设计人员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件。虽然此时的嵌入式操作系统还比较简单,但已经初步具有了一定的兼容性和扩展性,内核精巧且效率高,大大缩短了开发周期,提高了开发效率。

(3) 实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代,面对分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大市场的需求,嵌入式系统飞速发展。随着硬件实时性要求的提高,嵌入式系统的软件规模也不断扩大,实时操作系统(Real-Time Operation System,RTOS)逐渐形成。实时操作系统能够运行在各种不同类型的微处理器上,具备了文件和目录管理、设备管理、多任务、网络、图形用户界面(Graphic User Interface,GUI)等功能,并提供了大量的应用程序接口(Application Programming Interface,API),从而使应用软件的开发变得更加简单。

(4) 面向 Internet 阶段

进入 21 世纪,Internet 技术与信息家电、工业控制技术等的结合日益紧密,嵌入式技术与 Internet 技术的结合正在推动着嵌入式系统飞速发展。

2. 嵌入式系统的发展趋势

随着嵌入式技术与 Internet 技术的结合,嵌入式系统的研究和应用在飞速发展。

① 新的微处理器层出不穷。这些新的微处理器进一步精简了系统内核,优化关键算法,降低功耗和软硬件成本,并提供更加友好的多媒体人机交互界面。

② Linux、Windows CE、Palm OS 等嵌入式操作系统迅速发展。嵌入式操作系统自身结构的设计更加便于移植,具有源代码开放、系统内核小、执行效率高、网络结构完整等特点,能够在短时间内支持更多的微处理器。计算机的新技术、新观念开始逐步移植到嵌入式系统中,嵌入式软件平台得到进一步完善。

③ 嵌入式系统的开发成为了一项系统工程,开发商不仅要提供嵌入式软硬件系统本身,而且还要提供强大的硬件开发工具和软件支持包。

3. IP 核(Intellectual Property Core,知识产权核)

SOC(System On Chip,片上系统)是 20 世纪 90 年代中期出现的一个概念,并成为现代集成电路设计的发展方向。SOC 是指在单芯片上集成数字信号处理器、微控制器、存储器、数据