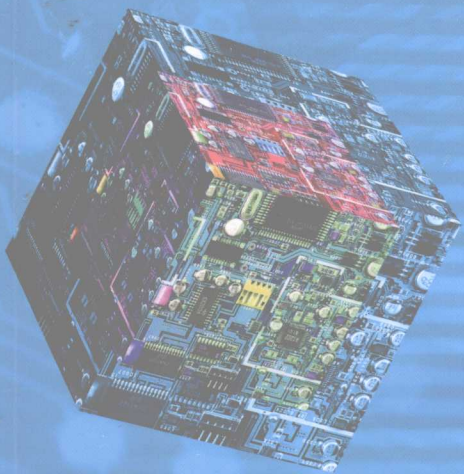




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

嵌入式系统 设计与实践



杨刚 龙海燕 编著



北京航空航天大学出版社



TP360.21
29



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

嵌入式系统设计与实践

杨 刚 龙海燕 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍嵌入式系统的软硬件设计方法,分为15章。内容包括:嵌入式系统概述、各种嵌入式处理器和外围设备、ARM体系结构和指令集、ARM7处理器硬件设计电路、嵌入式系统的多媒体应用和网络应用、嵌入式软件开发技术、操作系统的概念和分类,以及各种实时操作系统的组成和开发流程、嵌入式图形界面GUI的设计应用、嵌入式调试技术和调试工具的配置、嵌入式系统的低功耗设计、可靠性设计、电磁兼容设计等。

本书可作为电气、电子、计算机、软件、信息、机电类专业本科生和研究生教材,也可作为高职高专相关专业高年级教材;同时,还可作为有志于从事嵌入式系统软硬件开发、维护工作的专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计与实践/杨刚,龙海燕编著. —北京:

北京航空航天大学出版社, 2009. 3

ISBN 978-7-81124-478-6

I. 嵌… II. ①杨…②龙… 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(2008)第159683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本书内容。

侵权必究。

嵌入式系统设计与实践

杨 刚 龙海燕 编著

责任编辑 刘晓明

*

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

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:28.75 字数:644千字

2009年3月第1版 2009年3月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 978-7-81124-478-6 定价:45.00元

前 言

最近几年,伴随着计算机、通信和消费类电子技术的快速发展,嵌入式系统无论是在嵌入式硬件技术还是在嵌入式软件技术方面都获得了极大提升,基于RISC技术的各种嵌入式微处理器内核,如ARM、MIPS、PowerPC等,正在以前所未有的速度渗透到工业控制、信息家电、国防武器装备和互联网等应用领域;同时,各种新的嵌入式软件设计方法、板级支持包技术、嵌入式中间件和实时操作系统等层出不穷。更为突出的是,嵌入式软件和嵌入式硬件之间的相互依赖性越来越强,这对嵌入式系统设计和开发人员而言是一个挑战,因为在嵌入式领域,没有单纯的硬件工程师和单纯的软件工程师之分,“软硬兼施”是嵌入式工程师的必然特征。除此之外,产品的研发周期限制和上市时间压力迫使嵌入式系统的设计者、嵌入式集成开发平台和测试平台的供货商们共同努力,提出嵌入式系统设计方法学。在此设计方法学的引领下,一种软硬件协同设计、协同验证、协同仿真的设计流程呈现出来,使软件和硬件开发齐头并进,既有紧密的数据交流协作,又依靠各种强大的接口仿真部件、协议来保证软件和硬件开发的相对独立性。

作为高等院校教师,我们有责任培养出能够适应嵌入式系统开发和应用领域的学生,培养未来的领军人才。这一方面是因为这一市场具有广阔性、创造性和高回报性,另一方面是因为当前能胜任嵌入式软硬件开发、具有系统设计观念的从业人员数量远远跟不上市场需求。为此,我们开设了嵌入式系统设计方面的课程。本书在正式出版之前就已经以讲义的形式试用了3年,在教学中得到了检验。我们相信,通过对本书的学习,读者能够较全面地掌握嵌入式系统软硬件设计技术,掌握各种开发工具的使用方法;能够获得一种清晰的、完整的嵌入式开发理念,获得一种综合硬件和软件的应用能力。

前言

本书内容丰富,共分为15章。第1章为嵌入式系统概述;第2章为各种嵌入式处理器和外围设备的介绍;第3、4章介绍ARM体系结构和指令集;第5章以ARM7处理器(Samsung S3C44B0X)为例介绍硬件设计电路;第6、7章介绍嵌入式系统的多媒体应用和网络应用;第8章阐述嵌入式软件开发技术;第9、10章阐述操作系统的概念、分类,并介绍各种实时操作系统的组成和开发流程;第11章讲解嵌入式图形界面GUI的设计应用;第12章介绍各种嵌入式调试技术和调试工具的配置;第13~15章依次介绍嵌入式系统的低功耗设计、可靠性设计和电磁兼容性设计。

本书可作为电气、电子、计算机、软件、信息、机电类专业本科生和研究生教材,也可作为高职高专相关专业高年级教材;同时,还可作为有志于从事嵌入式系统软硬件开发、维护工作的专业技术人员的参考书。

本书由杨刚(四川大学电气信息学院)和龙海燕(成都航空职业技术学院电子工程系)主编,林训超(成都航空职业技术学院电子工程系)参与了本书部分章节的编写。另外在本书的编写过程中,得到四川大学汪道辉、黄华、夏建刚、王正荣等教授的大力支持;得到四川大学电气信息学院冉立、杨昌荣、任瑞玲和成都航空职业技术学院电子工程系张春林、董晓红等老师在实验设计和实验教学方面的协助。另外,在资料收集、整理方面,还得到刘旭垒、石家俊、曾军、吴长雷、刘美峰、温馨、黄征、牛明、涂登乾、张朋、李清芳、杨承凯、蒋晓明、罗剑等同学的参与,在此谨致以诚挚的感谢!

尽管作者力图将本书写好,不辜负读者的期望,然而由于嵌入式系统技术发展迅速,很难保证所编写的内容与实际不差毫厘。另外,由于时间和精力限制,书中难免有疏漏。对不当及谬误之处,恳请读者批评指正。

杨刚
2009年1月于四川大学

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

电话/传真:010-82317027

E-mail: bhkejian@126.com

目 录

2.4.7	多核处理器	30
2.4.8	嵌入式处理器的选择	31
2.5	片上系统 SOC	33
2.6	存储器	35
2.6.1	易失性存储器	35
2.6.2	非易失性存储器	36
2.6.3	存储卡	41
2.6.4	硬盘存储器	45
2.7	输入/输出设备	48
2.8	接口技术	48
2.8.1	并 口	49
2.8.2	串 口	49
2.8.3	红外线接口	51
2.8.4	USB	52
2.8.5	IEEE 1394	53
2.9	总 线	54
2.9.1	ISA	54
2.9.2	PCI	55
2.9.3	PC104 总线	56
第 3 章 ARM 微处理器的编程模型与指令集		
3.1	ARM 微处理器的工作状态	57
3.2	ARM 体系结构的存储器格式	57
3.3	指令长度及数据类型	58
3.4	处理器模式	59
3.5	寄存器组织	59
3.5.1	ARM 状态下的寄存器组织	60
3.5.2	Thumb 状态下的寄存器组织	63
3.5.3	程序状态寄存器	64
3.6	异 常	67
3.6.1	ARM 体系结构所支持的异常类型	67
3.6.2	异常优先级	68
3.6.3	异常向量	68
3.6.4	对异常的响应	68

3.6.5	从异常返回	69
3.6.6	各类异常的具体描述	70
3.6.7	应用程序中的异常处理	72
3.7	ARM 微处理器的寻址方式	73
3.8	ARM 微处理器的指令集	76
3.8.1	指令分类	76
3.8.2	指令格式	77
3.8.3	指令的条件码	79
3.8.4	ARM 指令集详细描述	80
3.8.5	Thumb 指令及应用	96
第 4 章 ARM 汇编语言程序设计		
4.1	伪指令	98
4.1.1	符号定义伪指令	98
4.1.2	数据定义伪指令	101
4.1.3	汇编控制伪指令	106
4.1.4	汇编报告伪指令	108
4.1.5	其他伪指令	110
4.1.6	ARM 伪指令	116
4.1.7	Thumb 伪指令	117
4.2	ARM 汇编语言程序设计	117
4.2.1	汇编语言文件格式和语句格式	117
4.2.2	汇编语言常用符号	118
4.2.3	汇编语言的表达式和运算符	121
4.2.4	汇编语言的段定义和宏定义	124
4.2.5	汇编语言程序设计示例	126
4.3	汇编编译器 armasm	129
4.4	汇编语言与 C/C++ 的混合编程	132
4.4.1	内嵌汇编器	132
4.4.2	内嵌的汇编器和 armasm 的区别	134
4.4.3	在 C/C++ 程序中使用内嵌的汇编指令	135
4.4.4	从汇编程序中访问 C 程序变量	137
4.4.5	汇编程序、C 程序以及 C++ 程序的相互调用	138

第 5 章 ARM 硬件系统的设计实现	
5.1 S3C44B0X 系统设计概述	146
5.2 S3C44B0X 概述	147
5.2.1 S3C44B0X 的引脚分布及信号描述	147
5.2.2 S3C44B0X 的特殊功能寄存器	152
5.3 系统的硬件选型与单元电路设计	159
5.3.1 电源电路	159
5.3.2 晶振电路与复位电路	159
5.3.3 Flash 存储器接口电路	161
5.3.4 SDRAM 接口电路	164
5.3.5 串行接口电路	167
5.3.6 矩阵键盘	169
5.3.7 I ² S 音频接口	170
5.3.8 DAC 接口	170
5.3.9 I ² C 接口	171
5.3.10 JTAG 接口电路	172
5.3.11 10M 以太网接口电路	173
5.3.12 USB 接口	174
5.3.13 通用 I/O 接口电路	175
5.3.14 外部中断	176
5.3.15 步进电机	176
5.3.16 LCD	176
5.3.17 CAN 总线	177
5.3.18 触摸屏	177
第 6 章 嵌入式系统的多媒体处理	
6.1 数字音频技术	178
6.1.1 采样频率和采样精度	178
6.1.2 音频 ADC 和 DAC	178
6.1.3 音频接口	180
6.1.4 音频信号处理技术	181
6.1.5 数字音频编码	183
6.1.6 多媒体播放处理器	186

6.2	数字视频技术	186
6.2.1	视频的系统级描述	186
6.2.2	视频源	188
6.2.3	图像传感器的连接	188
6.2.4	图像通道	189
6.2.5	机械反馈控制	189
6.2.6	图像处理	190
6.2.7	数字视频显示	191
6.2.8	数字视频编码	193
6.2.9	数字视频开发平台	194
6.3	触摸屏技术	195
6.4	手写识别技术	197
6.5	语音识别技术	198
6.6	指纹识别技术	200
第 7 章 嵌入式网络与协议栈		
7.1	概 述	203
7.2	嵌入式系统的分布式应用	204
7.2.1	分布式系统的定义	204
7.2.2	分布式系统与单处理器系统的比较	204
7.2.3	分布式嵌入式系统的结构	205
7.2.4	网络抽象模型	206
7.3	分布式工业控制总线网络	208
7.3.1	I ² C 总线	208
7.3.2	CAN 总线	209
7.3.3	FF 总线	209
7.4	嵌入式系统网络构建	212
7.4.1	选择协议栈	212
7.4.2	选择网络技术	212
7.4.3	选择现成的实现方案	213
7.4.4	使用标准的应用协议	213
7.4.5	确定网络体系结构	214
7.5	嵌入式系统 Internet 接入技术	215
7.5.1	嵌入式 Internet 技术	215

目 录

881	7.5.2	嵌入式系统的 Internet 网络化	216
881	7.5.3	嵌入式 TCP/IP 协议	216
881	7.6	嵌入式系统的无线接入技术	219
881	7.6.1	无线局域网	219
881	7.6.2	IEEE 802.11	220
881	7.6.3	蓝牙技术	224
881	7.6.4	无线局域网技术比较	227
881	7.7	无线传感器网络技术	228
881	7.7.1	无线传感器网络的应用范围	228
881	7.7.2	无线传感器网络体系结构	229
881	7.7.3	无线传感器网络协议栈	231
881	7.7.4	基于超宽带冲激无线电技术的无线传感器网络	233
881	7.7.5	超宽带无线传感器网络的发展趋势	234
885		第 8 章 嵌入式系统软件设计	
	8.1	嵌入式软件体系结构	236
885	8.1.1	概 述	236
885	8.1.2	嵌入式软件分类	237
885	8.1.3	无操作系统的嵌入式软件体系结构	239
885	8.1.4	有操作系统的嵌入式软件体系结构	241
885	8.1.5	嵌入式软件体系结构的选择	242
885	8.2	嵌入式软件设计方法	242
885	8.2.1	瀑布模式开发过程	243
885	8.2.2	V 模式开发过程	244
885	8.2.3	基于硬件抽象层的系统软件设计方法	245
885	8.2.4	增加操作系统抽象层的系统软件设计方法	247
885	8.3	板级支持包技术	249
885	8.3.1	板级支持包的特点	249
885	8.3.2	BSP 的作用与功能	250
885	8.3.3	常见的 BSP 实现方式和开发方法	251
885	8.3.4	主流嵌入式操作系统及其 BSP 技术	253
885	8.3.5	嵌入式系统的硬件初始化	257
885	8.3.6	BSP 与 PC 中 BIOS 硬件初始化的比较	258
885	8.4	嵌入式系统的引导技术	259

102	8.4.1	Boot Loader 简介	259
107	8.4.2	嵌入式 Linux 的 Boot Loader 设计思想	261
102	8.5	嵌入式系统的设备驱动程序	263
102	8.6	嵌入式系统的高级编程语言	264
102	8.7	面向对象的嵌入式技术	265
102	8.8	嵌入式数据库技术	266
第 9 章 操作系统基础			
112	9.1	操作系统的功能	269
112	9.2	操作系统的发展史	270
112	9.3	内存管理	271
112	9.3.1	内存管理功能	271
112	9.3.2	内存分割	271
112	9.3.3	虚拟内存	273
112	9.4	进程与中断管理	275
112	9.4.1	进程描述与控制	275
112	9.4.2	并发控制:互斥与同步	280
112	9.4.3	并发控制:死锁处理	286
112	9.4.4	中断及中断处理	288
112	9.5	调度机制	290
112	9.5.1	调度类型	290
112	9.5.2	实时调度	292
112	9.6	I/O 设备	294
112	9.6.1	I/O 设备描述参数	295
112	9.6.2	I/O 技术的演变	295
112	9.6.3	I/O 设备逻辑描述	296
112	9.6.4	I/O 缓冲技术	296
	9.7	文件管理	297
第 10 章 嵌入式操作系统			
112	10.1	嵌入式操作系统概述	299
112	10.1.1	嵌入式操作系统的组成	299
112	10.1.2	嵌入式操作系统的特点	300
112	10.1.3	嵌入式操作系统的分类	301

10.1.4	嵌入式实时操作系统	301
10.2	嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$	304
10.2.1	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的内核结构	305
10.2.2	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的临界区	305
10.2.3	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的任务管理	305
10.2.4	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的时钟节拍	309
10.2.5	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的时间管理	309
10.2.6	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的内存管理	310
10.2.7	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的初始化与启动	310
10.2.8	$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的移植条件	310
10.3	嵌入式操作系统 Windows CE	312
10.3.1	Windows CE 发展简史	312
10.3.2	Windows CE 的功能	313
10.3.3	Windows CE 的应用领域	314
10.3.4	Windows CE 的系统结构	315
10.3.5	Windows CE 操作系统的核心特性	315
10.3.6	应用系统基础设施	317
10.3.7	嵌入式系统支持	318
10.4	嵌入式 Linux 系统	319
10.4.1	嵌入式 Linux 系统的特点	319
10.4.2	嵌入式 Linux 的发展	320
10.4.3	嵌入式 Linux 开发流程	321
10.4.4	嵌入式 Linux 内核设计	323
10.4.5	嵌入式 Linux 文件系统设计	332
10.4.6	Linux 设备驱动	339
10.5	其他嵌入式操作系统	342
10.6	嵌入式操作系统的发展趋势	346
第 11 章 嵌入式图形用户界面设计		
11.1	人机交互界面设计概述	348
11.1.1	人机交互技术的内涵	348
11.1.2	用户界面的设计原则	349
11.1.3	用户界面的设计步骤	350
11.1.4	用户界面的评价	350

107	11.2 图形用户界面概述	350
107	11.2.1 图形用户界面的基本特征	351
108	11.2.2 图形用户界面的结构模型	352
109	11.2.3 图形用户界面的实现	352
118	11.3 图形用户界面与嵌入式系统	354
118	11.3.1 嵌入式图形用户界面的特点	354
120	11.3.2 嵌入式图形用户界面的开发方案	354
150	11.3.3 嵌入式图形用户界面的体系结构	355
180	11.4 嵌入式图形用户界面的主要技术分析	357
182	11.4.1 消息机制和事件驱动	357
186	11.4.2 屏幕管理技术	359
197	11.5 几种嵌入式 GUI 简介	361
101	第 12 章 嵌入式系统开发环境和调试方法	
	12.1 嵌入式系统软硬件协同设计流程	365
	12.2 交叉编译技术	366
101	12.2.1 交叉编译的基本原理	366
104	12.2.2 GCC 交叉编译器编译流程	368
104	12.2.3 Linux 环境下的 GCC 交叉编译器	372
101	12.2.4 交叉编译工具链准备	373
111	12.3 嵌入式系统调试方法	374
111	12.3.1 Host - Target 开发调试模式	374
111	12.3.2 嵌入式系统常用的调试跟踪技术	374
111	12.3.3 嵌入式系统多核调试技术	377
111	12.4 嵌入式 Linux 的开发和调试方法	380
111	12.4.1 Linux 内核的调试	381
111	12.4.2 Linux 应用程序的调试	383
111	12.5 Windows CE 的开发工具	383
111	第 13 章 嵌入式系统的低功耗设计	
	13.1 概 述	386
111	13.1.1 CMOS 电路功耗的特点	386
111	13.1.2 CMOS 集成电路的功耗组成	387
111	13.2 基于硬件的低功耗设计	389

目 录

028	13.2.1	处理器的选择	389
178	13.2.2	总线低功耗设计	390
378	13.2.3	接口驱动电路的低功耗设计	390
928	13.2.4	选取低功耗的电路形式	391
128	13.2.5	单电源和低电压供电	391
428	13.2.6	分区/分时供电技术	391
178	13.2.7	I/O 引脚供电	392
678	13.3	电源的低功耗设计	392
728	13.3.1	电源管理技术	392
578	13.3.2	常用节电方法	396
078	13.3.3	智能电池技术	397
188	13.4	基于软件的低功耗设计	400
	13.4.1	嵌入式软件功耗估计的方法	401
	13.4.2	软件低功耗设计的措施	402
	第 14 章	嵌入式系统的可靠性设计	
378	14.1	概 述	404
808	14.2	可靠性涉及的性能指标	405
978	14.3	嵌入式系统可靠性设计方法	407
178	14.3.1	嵌入式系统硬件可靠性设计	408
488	14.3.2	常用元器件的可靠性分析	410
578	14.3.3	提高嵌入式系统可靠性的具体措施	410
678	14.4	嵌入式软件的可靠性设计	412
778	14.4.1	软件可靠性与硬件可靠性的区别	412
088	14.4.2	影响软件可靠性的因素	413
188	14.4.3	提高软件可靠性的方法和技术	413
288	14.4.4	软件产品的可靠性评估	415
388	14.4.5	嵌入式软件的可靠性设计	417
	14.5	可靠性的管理	419
	第 15 章	嵌入式系统的电磁兼容性设计	
888	15.1	电磁兼容的基本原理	421
788	15.1.1	电磁兼容的定义	421
488	15.1.2	电磁兼容的常用术语	421

15.1.3	常见的电磁兼容性问题	422
15.1.4	电磁环境特性	423
15.1.5	电磁耦合的途径	424
15.2	提高电磁兼容性的措施	425
15.2.1	消除地电位不均匀	425
15.2.2	接地散热器的处理	425
15.2.3	时钟源的电源滤波方法	426
15.2.4	集成电路的辐射考虑	427
15.2.5	旁路和去耦	427
15.3	信号完整性与串扰	428
15.3.1	信号完整性要求	428
15.3.2	反射和衰减振荡	429
15.3.3	计算电长走线	430
15.3.4	串 扰	431
15.4	基于电磁兼容技术的多层 PCB 布线设计	431
15.4.1	20 - H 法则和 3 - W 法则	431
15.4.2	PCB 的合理分层和布局原则	432
15.5	接 地	434
15.5.1	接地种类	435
15.5.2	接地方式	436
15.5.3	接地电阻	438
15.5.4	接地布局	438
15.6	电磁兼容性的其他措施	438
	参考文献	440

第1章

嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统的定义

近年来“嵌入式系统”一词开始风靡起来,小到普通的 MP3 播放器、PDA 个人数字助理,大到信息家电、汽车电子、机械加工和工业机器人等都被冠以嵌入式系统应用的称谓。然而,嵌入式系统的概念并非新近才出现,早在 20 世纪 70 年代,随着 Intel 公司的 8 位微控制器 8048 的出现(同期的 8 位微控制器还有:Motorola 公司的 68HC05, Zilog 公司的 Z80 系列等),使得过程控制、通信设备、汽车、工业机器人以及成千上万的消费类电子产品可以通过内嵌电子装置的形式来获得更佳的性能,并且更可靠,速度更快,价格更低。这些装置已经初步具备嵌入式应用的一些特点,但是由于它们所采用的微控制器在性能、速度和寻址能力上的限制,因而仅能完成一些简单的单任务操作,不可能运行实时多任务程序,因此还不能称为嵌入式系统。

随着微电子和计算机技术的迅猛发展,嵌入式处理器在速度、寻址空间、处理能力、可靠性、功耗、体积以及成本上有了质的飞跃,例如处理速度由从前的 0.1 MIPS 达到现在的 2000 MIPS,物理寻址空间可从 64 KB 到现在的 256 MB。与此同时,近年来的嵌入式处理器还在内核结构上有重大变革,可扩展性更好,并出现了专业的 IP 芯核(Intellectual Property Core,知识产权芯核)供应商,如 ARM、MIPS 等。他们通过提供优质、高性能的嵌入式微处理器内核,由各个购买内核使用权的芯片设计公司或制造厂商结合各自的优势,添加片内外设和控制逻辑,生产出面向各个应用领域的芯片,从而推动嵌入式系统的繁荣发展。

那么嵌入式系统的具体定义是什么?

嵌入式系统的定义是:以应用为中心,以微电子技术、控制技术、计算机技术和通信技术为基础,强调软硬件的协同性、整合性和可裁剪性,并能满足目标应用对功能、可靠性、成本、体积和功耗等方面有严格要求的一种专用计算机系统。

嵌入式系统通常由微处理器或微控制器、定时器、存储器、外设器件和 I/O 端口、图形控制器、传感器、执行器等一系列微电子芯片与器件,以及嵌入在存储器中的微型操作系统(要求实时和多任务操作)、应用程序组成,共同实现诸如实时控制、监视、管理、移动计算和数据处理