



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 嵌入式 系统设计

QIAN RU SHI  
XITONG SHEJI

●●●●● 彭 舰 陈良银 主 编  
●●●●● 张 磊 赵 辉 副主编



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 嵌入式 系统设计

QIAN RU SHI  
XITONG SHEJI

● ● ● ● ● 彭 舰 陈良银 主 编  
● ● ● ● ● 张 磊 赵 辉 副主编

重庆大学出版社

## 内容提要

本书在内容的安排上,考虑到市场的具体需求和当前嵌入式技术的发展现状,基于 ARM 硬件平台进行讲解,将嵌入式 Linux 和 Windows CE 系统下的嵌入式开发作为主要内容。

本书分为三个部分,共 15 章:

第一部分是嵌入式基础,包括第 1~5 章。主要介绍了嵌入式系统概述,软硬件协同设计方法,ARM 嵌入式微处理器的体系结构和指令系统,典型微处理器 S3C2410 的接口设置以及构件技术。

第二部分是嵌入式 Linux 操作系统,包括第 6~11 章。主要介绍了嵌入式 Linux 开发环境的建立过程,嵌入式 Linux 的 BootLoader, Uboot 启动代码,嵌入式 Linux 内核,嵌入式 Linux 文件系统,嵌入式 Linux 驱动程序开发以及嵌入式 Linux 应用程序开发。

第三部分是 Windows CE .NET 操作系统,包括第 12~15 章。主要介绍了 Windows CE .NET 系统概述,Windows CE .NET 内核定制的基本过程,Windows CE .NET 系统开发过程以及 Windows CE .NET 应用程序开发。

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计/彭舰,陈良银主编. —重庆:重庆大学出版社,2008.3

ISBN 978-7-5624-4470-1

I. 嵌… II. ①彭…②陈… 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 130655 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

### 嵌入式系统设计

彭舰 陈良银 主编

张磊 赵辉 副主编

责任编辑:李长惠 王海琼 孔 霁 版式设计:李长惠

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:612 千

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4470-1 定价:34.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究



# 序 言

## 出版目的

当前,嵌入式技术发展迅猛,已深入到各个领域,得到了广泛的应用。嵌入式系统是多学科领域知识的综合应用,集计算机、电子、通信和自动控制等多种技术于一体,其应用领域包括科学研究、工业控制、交通通信、医疗卫生、国防军事、消费娱乐等。几乎所有的电子设备里都有嵌入式系统的影子。手机、PDA、掌上电脑、机顶盒、智能家电等嵌入式产品正在影响着人们的生活。

嵌入式系统具有软硬件紧密结合的特点,其设计与计算机领域单纯的软件设计及电子工程领域单纯的硬件设计都不同,它是计算机与电子工程设计两者的结合,是软硬件的综合设计。国内的嵌入式技术教学和设计的人才缺乏,人才供需矛盾突出,教学改革势在必行。

本书希望在这点上做些尝试,采用软硬件结合的方式介绍嵌入式系统设计,以帮助有志于从事嵌入式系统设计的学生和工程技术人员,提高嵌入式系统的软硬件综合设计能力。

## 内容与结构安排

嵌入式系统教学目前往往作为选修课,课时较短(30~50学时),能否达到学习嵌入式技术知识、掌握嵌入式系统基本开发方法和应用的目的,还有待于实践的检验。全书教学为48学时,课时不足可做选择性教学。

嵌入式系统是一个涉及多学科知识的研究领域,包括操作系统(Linux, Win CE)、微机原理(ARM 处理器)、C语言/汇编语言程序设计、计算机网络及各种应用领域等。目前,国内外同类图书主要从嵌入式系统理论、Linux、Win CE 操作系统(或其他)、C编程、各种处理器结构和原理等方面分别进行描述。

本书是在四川大学计算机学院实践教学过程中总结编写的,在3年的教学过程中,曾先后获得四川大学计算机学院精品课程(<http://cs.scu.edu.cn/~embedded>),四川大学精品课程和教育部——微软精品课程的支持。从实用的角度出发,全面系统地介绍了ARM硬件体系

结构、指令系统、ARM 处理器的基本操作方法、开发调试、嵌入式 Linux 和 Win CE 嵌入式设计等。

本书共分 15 章, 主要内容包括: 嵌入式系统概述、嵌入式系统设计概述, ARM 系统结构、ARM 指令系统、ARM 汇编语言程序设计、嵌入式系统存储器和常用接口、ARM 嵌入式软件设计初步、嵌入式 Linux 系统及其应用程序开发、Win CE 系统原理及其定制、Win CE 系统开发和 Win CE 应用开发等。

### 本书特点

本书除了围绕基本概念、设计方法、体系结构进行共性知识教学, 从中提炼出共性的设计方法外, 还根据计算机专业和软件工程专业学生的特点, 有针对性地选择合适的课程内容与授课体系, 所以本书基于 ARM 芯片, 并注重嵌入式 Linux 和 Win CE 两个操作系统下的软件教学和实践。

### 适用对象

本书适合于电气信息类专业( 计算机科学与技术、软件工程、电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、生物医学工程) 的大学高年级学生和研究生作为必修或选修教材以及嵌入式计算方面的指导用书, 也可以作为相关科技人员的参考用书。

### 编著者

本书由彭舰, 陈良银任主编, 张磊, 赵辉任副主编, 他们均是四川大学校级精品课程“嵌入式系统设计”的骨干教师; 参与本书编写的还有邢建川、罗刚、金虎、倪建成、伍敏、王俊、熊奇、王红伟、谢川、钟红、刘亚东、李红、程艳红、成颢、朱丽、李托径等。

本书还得到了电子科技大学桑楠教授, 四川大学郭兵教授的真情指教, 同时和四川大学电子信息学院和电气信息学院的嵌入式课程组的骨干教师进行了十分有益的交流。本书的出版还得到了四川大学计算机学院周激流院长, 邵明松书记, 朱敏、唐宁九、谢汶、洪玫教授的鼓励和帮助, 在此表示感谢。

本书受教育部——微软精品课程“嵌入式系统设计”和四川大学精品课程“嵌入式系统设计”的资助支持。同时, 本书还得到了普通高等教育“十一五”国家级规划教材支持。

鉴于作者水平有限, 加之时间仓促, 本书尚有不少缺点和错误, 希望得到广大读者的指正, 以便我们不断修改和完善, 在后续出版中得到订正, 谢谢!

编者

2008 年 2 月于四川大学

# 目 录

## MU LU

### 第 1 部分

### 嵌入式基础

1	嵌入式系统概述	3
1.1	嵌入式系统的主流应用	5
1.2	嵌入式系统的特点	6
1.3	嵌入式系统基本组成	8
1.4	嵌入式处理器	9
1.4.1	嵌入式处理器分类	9
1.4.2	嵌入式微处理器介绍	11
1.5	嵌入式软件	12
1.5.1	嵌入式处理器分类	12
1.5.2	嵌入式微处理器介绍	14
1.6	嵌入式系统特性分析	14
1.6.1	嵌入式软件分类	14
1.6.2	嵌入式软件发展趋势	15
1.7	嵌入式系统发展趋势	17
1.8	小结	18
1.9	习题	18
2	嵌入式系统基本设计方法	19
2.1	嵌入式系统设计概述	19
2.1.1	嵌入式系统设计的内容	19
2.1.2	嵌入式系统设计的技术背景	19
2.1.3	嵌入式系统设计方法的分类	20
2.1.4	嵌入式开发环境	22
2.2	嵌入式系统软硬件协同设计概述	22
2.2.1	软硬件协同设计的发展背景与过程	23
2.2.2	软硬件协同设计流程	24
2.3	需求分析和概要设计	25
2.3.1	用户需求分析和确定项目约束条件	25

2.3.2	系统硬件和软件功能划分	26
2.3.3	概要设计	26
2.4	详细设计	27
2.4.1	确定系统体系结构	27
2.4.2	硬件与软件的选型	27
2.4.3	微处理器选型和外围接口电路设计	29
2.4.4	嵌入式操作系统的选择	30
2.5	实现阶段	32
2.5.1	软件与硬件系统的实现	32
2.5.2	嵌入式系统的调试	33
2.6	测试阶段	35
2.6.1	嵌入式软件测试方法	35
2.6.2	嵌入式软件测试工具	36
2.6.3	嵌入式软件测试过程	37
2.7	小结	38
2.8	习题	38
3	嵌入式微处理器 ARM	39
3.1	ARM 微处理器系列	39
3.1.1	ARM 微处理器简介	39
3.1.2	ARM 体系结构及发展	39
3.1.3	ARM 微处理器系列	40
3.2	ARM 微处理器体系结构	43
3.2.1	ARM 微处理器的工作状态	43
3.2.2	ARM 微处理器的存储格式	43
3.2.3	ARM 微处理器的指令流水线	44
3.2.4	ARM 微处理器的处理器模式	44
3.2.5	ARM 微处理器 ARM 状态下寄存器组织	45
3.2.6	ARM 的异常处理	48
3.3	ARM 典型微处理器	49
3.3.1	Samsung S3C2410X 简介	50
3.3.2	S3C2410X 功能结构框图	50
3.4	ARM 指令系统	51
3.4.1	指令格式	51
3.4.2	条件码	52
3.4.3	ARM 的寻址方式	52
3.4.4	ARM 指令集简介	55

3.5	ARM 伪指令及汇编程序设计简介	68
3.5.1	符号定义伪指令	68
3.5.2	数据定义伪指令	69
3.5.3	汇编控制伪指令	71
3.5.4	ARM 伪指令	72
3.5.5	其他伪指令	73
3.5.6	汇编语言编程	75
3.6	小结	76
3.7	习题	77
4	嵌入式系统存储器和常用接口	78
4.1	嵌入式系统存储器分类	78
4.1.1	易失性存储器	78
4.1.2	非易失性寄存器	79
4.2	嵌入式系统存储器管理	80
4.3	S3C2410X 存储系统	81
4.3.1	S3C2410X 存储系统的特征	81
4.3.2	Bank0 总线宽度	81
4.3.3	存储器(SROM/SDRAM)地址引脚连接	82
4.4	通用 UART	83
4.4.1	概述	84
4.4.2	UART 操作	84
4.4.3	中断/DMA 请求产生器	86
4.4.4	波特率发生器	87
4.4.5	UART 寄存器	87
4.5	LCD 控制	91
4.5.1	LCD 简介	91
4.5.2	LCD 控制器介绍	91
4.5.3	TFT LCD 控制器操作	93
4.5.4	LCD 寄存器介绍	97
4.6	以太网接口	102
4.6.1	以太网通信原理介绍	102
4.6.2	CS8900A 以太网芯片简介	103
4.6.3	CS8900A 的 PacketPage 结构	104
4.7	其他 I/O	112
4.7.1	CAN 总线模块	112
4.7.2	I <sup>2</sup> C 总线	113
4.7.3	PCMCIA 接口	113
4.7.4	USB 接口	113



第 2 部分

4.7.5	红外线通信接口	113
4.7.6	A/D&D/A 转换器	113
4.8	小结	114
4.9	习题	114
<b>5</b>	<b>嵌入式系统构件</b>	<b>115</b>
5.1	嵌入式系统软件构件技术	115
5.1.1	基本概念	115
5.1.2	实例	117
5.2	LCD 显示构件	118
5.2.1	模型	118
5.2.2	接口函数	118
5.2.3	模块实现	120
5.3	小结	124
5.4	习题	124
	<b>嵌入式 Linux 操作系统</b>	
<b>6</b>	<b>嵌入式 Linux 基础</b>	<b>127</b>
6.1	嵌入式 Linux 系统概述	127
6.1.1	嵌入式 Linux 的优势和挑战	127
6.1.2	常见的嵌入式 Linux 系统简介	129
6.2	嵌入式 Linux 开发环境	130
6.2.1	嵌入式 Linux 开发的步骤	130
6.2.2	环境的建立	131
6.3	小结	136
6.4	习题	136
<b>7</b>	<b>嵌入式 Linux 的 Bootloader</b>	<b>137</b>
7.1	Bootloader 简介	137
7.1.1	Bootloader 的概念	137
7.1.2	Bootloader 的启动	138
7.1.3	Bootloader 的种类	140
7.2	常用 Bootloader 的介绍	141
7.2.1	ARMboot	141
7.2.2	U-Boot	142

7.2.3	Blob	144
7.2.4	vivi	144
7.3	Bootloader 的烧写和使用	145
7.3.1	Bootloader 的烧写	145
7.3.2	Bootloader 的使用	146
7.4	初始化引导代码实例	146
7.4.1	U-Boot 源码结构	147
7.4.2	启动流程分析	148
7.4.3	main.c 文件	176
7.5	小结	178
7.6	习题	179
8	嵌入式 Linux 内核	180
8.1	Linux 内核概述	180
8.1.1	Linux 内核和功能结构	180
8.1.2	Linux 内核源代码布局	182
8.1.3	内核的移植	184
8.2	Linux 内核模块	185
8.2.1	进程管理模块	185
8.2.2	存储管理模块	187
8.3	Linux 的编译和定制	189
8.3.1	Linux 内核编译概述	189
8.3.2	编译内核前的准备工作	189
8.3.3	编译内核第一步:配置内核	190
8.3.4	编译内核第二步:编译内核	191
8.3.5	编译内核后生成的文件	191
8.4	Linux 系统调用举例	193
8.4.1	Linux 系统调用介绍	193
8.4.2	给内核增加新的系统调用的实例	194
8.5	小结	196
8.6	习题	196
9	嵌入式 Linux 文件系统	197
9.1	Linux 文件系统结构	197
9.1.1	Linux 文件系统的特点	197
9.1.2	Mount 命令	198
9.1.3	文件的类型	199
9.1.4	Linux 常见的文件系统	200
9.1.5	VFS	200

9.2	MTD	201
9.3	嵌入式 Linux 专用文件系统	202
9.3.1	JFFS/JFFS2	202
9.3.2	YAFFS/YAFFS2	203
9.3.3	Cramfs	204
9.4	如何构造根文件系统	205
9.4.1	根文件系统的基本结构	205
9.4.2	为嵌入式系统建立一个完整的文件系统	206
9.5	小结	210
9.6	习题	210
10	嵌入式 Linux 设备驱动程序	211
10.1	Linux 设备介绍	211
10.1.1	Linux 设备分类	211
10.1.2	设备文件	211
10.1.3	设备号	212
10.2	Linux 设备驱动程序	212
10.3	Linux 设备驱动程序模块结构	215
10.4	Linux 设备驱动程序的编写举例	215
10.4.1	主要数据结构和全局变量	220
10.4.2	主要接口函数	221
10.4.3	模块加载函数	223
10.4.4	模块加载和驱动安装	224
10.5	小结	226
10.6	习题	226
11	嵌入式 Linux 系统应用程序开发	227
11.1	Linux 应用程序开发概述	227
11.2	V1 编辑器	228
11.3	使用 gcc 进行 Linux 应用程序开发	228
11.4	GNU 的 make 和 Makefile	229
11.4.1	GNU Make 概述	229
11.4.2	Makefile 介绍	229
11.4.3	GNU make 的主要预定义变量	232
11.4.4	make 的命令行选项	232

## 第 3 部分

## Windows CE. NET 操作系统

11.5	嵌入式 Linux 的 GUI	233
11.5.1	概述	233
11.5.2	常见的嵌入式 Linux GUI 简介	233
11.5.3	MimGui	235
11.6	小结	238
11.7	习题	238
12	Windows CE. NET 体系结构	241
12.1	Windows CE 简介	241
12.1.1	Windows CE 概述	241
12.1.2	Windows CE. NET 概述	241
12.1.3	Windows CE 的发展	242
12.1.4	Windows CE 的应用	243
12.2	Windows CE. NET 系统架构	244
12.2.1	Windows CE. NET 系统特征	244
12.2.2	Windows CE. NET 体系结构	246
12.2.3	Windows CE. NET 内核	247
12.2.4	Windows CE. NET 实时特性	250
12.3	Windows CE. NET 系统调度	251
12.3.1	Windows CE. NET 进程的描述和控制	251
12.3.2	Windows CE. NET 进程的同步	255
12.3.3	Windows CE. NET 进程间通信	257
12.4	Windows CE. NET 内存管理	259
12.4.1	Windows CE. NET 内存体系结构	259
12.4.2	Windows CE. NET 进程地址空间	260
12.4.3	物理内存	262
12.4.4	虚拟内存	264
12.4.5	内存分配方式	266
12.5	Windows CE. NET 存储管理与文件系统	268
12.5.1	对象存储	269
12.5.2	文件系统	269
12.5.3	存储管理器	270
12.5.4	注册表	270
12.6	Windows CE. NET 设备管理	271
12.7	Windows CE. NET 用户界面与图形子系统	272

12.8	小结	273
12.9	习题	273
13	Windows CE. NET 系统定制	274
13.1	Windows CE 开发平台的构建与配置	274
13.1.1	基于 Windows CE 的嵌入式产品的开发 流程	274
13.1.2	开发平台的搭建及使用	275
13.1.3	Platform Builder 集成开发环境	277
13.2	Windows CE. NET 内核定制	280
13.2.1	平台开发周期	280
13.2.2	定制 Windows CE 操作系统的过程	282
13.2.3	在 Platform Builder 中添加自定义特性	287
13.2.4	内核镜像的两种运行环境	290
13.3	内核镜像的创建原理	297
13.3.1	源代码配置文件	297
13.3.2	镜像配置文件	299
13.3.3	内核镜像的生成原理	301
13.4	小结	305
13.5	习题	305
14	Windows CE. NET 系统开发	306
14.1	Windows CE. NET 开发	306
14.1.1	Windows CE. NET 开发概述	306
14.1.2	Windows CE. NET 开发过程	309
14.2	BSP 开发概述	312
14.2.1	BSP 概述	312
14.2.2	BSP 基本结构	312
14.2.3	BSP 开发	313
14.3	驱动程序开发	315
14.3.1	驱动开发概述	315
14.3.2	Windows CE. NET 的驱动模型	315
14.3.3	Windows CE. NET 驱动程序的中 断机制	318
14.3.4	流接口驱动程序工作原理	322
14.3.5	流接口驱动程序开发过程	323
14.3.6	流接口驱动程序开发实例	325
14.4	Bootloader 开发	329
14.4.1	Bootloader 概述	329

14.4.2	Eboot	331
14.4.3	Bootloader 开发概述	334
14.5	OAL 开发	335
14.5.1	OAL 概述	335
14.5.2	Windows CE 操作系统的启动过程	336
14.5.3	OAL 基本开发	337
14.6	小结	339
14.7	习题	339
15	Windows CE. NET 应用开发	340
15.1	应用开发概述	340
15.1.1	Windows CE 应用程序开发流程	340
15.1.2	Windows CE 编程特性	341
15.2	Windows CE 的应用编程接口	342
15.2.1	Win 32 API	343
15.2.2	MFC	344
15.2.3	.NET Compact Framework	344
15.2.4	各种编程接口的比较	346
15.3	Windows CE 应用开发工具	347
15.3.1	Windows CE 应用程序开发的选择	347
15.3.2	Windows CE 应用程序开发工具概述	349
15.3.3	EVC 集成开发环境	350
15.3.4	Visual Studio. NET	353
15.3.5	开发软件的依赖关系	356
15.4	Embedded Visual C++ 4.0 应用开发概述	357
15.4.1	MFC 应用程序的建立	357
15.4.2	应用程序功能的添加	360
15.5	Windows CE 通信开发实例	362
15.5.1	Windows CE 串行通信原理	362
15.5.2	功能描述	363
15.5.3	关键代码分析	363
15.5.4	源代码剖析	365
15.6	小结	371
15.7	习题	371
	参考文献	372



# 第 1 部分

DI YI BU FEN

## 嵌入式基础



# 1

## 嵌入式系统概述

1970年,微处理器的问世使计算机的发展出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机具有的小型、廉价、高可靠性特点,以及高速运算能力所表现出的智能化水平,深深吸引了控制专业的人士。随着控制领域需求的不断增长,诞生了一个新的理念——将计算机嵌入到一个更大、更专用的对象中去,形成“嵌入式计算机系统”,简称为“嵌入式系统(Embedded System)”。

IEEE(国际电气和电子工程师协会)对嵌入式系统的定义是:嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置。”可以看出此定义是从应用上考虑的,认为嵌入式系统是软件和硬件的综合体,并涵盖了机电等附属装置。

国内普遍认可的嵌入式系统的定义是:“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,适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统。”它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等4个部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等。

从应用角度定义,嵌入式系统是软件和硬件的结合体,并且执行某种特定功能。从技术角度定义,它是以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪。“可裁剪”,简单地说就是指嵌入式系统的大小和规格会随着具体应用需求而改变。这个定义是目前比较通用的定义,它总结出了嵌入式系统的两个重要特点:

### (1) 以应用为中心

嵌入式系统不应该独立于应用。就我们所能看到的嵌入式系统而言,除了那些专门用于计算的计算机系统以外,几乎所有的计算机系统都在为特定的其他应用而服务。所有的嵌入式系统都在做很多各不相同的工作,处理各种不同的应用。

### (2) 以计算机技术为基础

计算机系统由软件和硬件构成,嵌入式系统也不例外。近些年,嵌入式领域已经出现了一些基于开放平台的系统,过去不同设备上的软件开始逐渐出现统一的趋势,嵌入式系统的开发也越来越开放、标准和规范。

由于嵌入式计算机系统需要嵌入到对象体系中,并实现对该对象的智能化控制。因此,它的技术要求和技术发展方向完全不同于通用计算机系统。嵌入式计算机系统在技术上,强调对对象的智能化控制能力,在技术发展方向上,主要是针对对象系统的嵌入性能、控制能力和