

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

路莹 彭健钧 主编

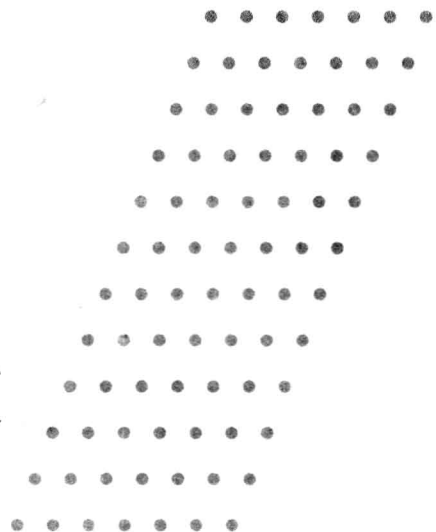
嵌入式系统开发 技术与应用

清华大学出版社

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

路莹 彭健钧 主编

嵌入式系统开发 技术与应用



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据嵌入式系统的发展趋势,针对 ARM 嵌入式处理器,详细地介绍了嵌入式系统开发的方法和技巧。全书分为 4 篇共 10 章,在系统地论述了嵌入式系统的基础理论、ARM 处理器体系结构、ARM 指令系统的基础上,讲解了嵌入式系统的接口技术、嵌入式 Linux 操作系统的编程基础以及基于 ARM 嵌入式 Linux 系统的开发。针对 Intel Xscale PXA270 嵌入式处理器,重点讲述了嵌入式系统开发的各种关键技术。

本书可作为高等院校计算机、网络、自动化、通信及其相关专业高年级本科生、研究生学习嵌入式系统开发的教材和培训单位的教学资料,也可作为从事 ARM 嵌入式应用开发技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统开发技术与应用/路莹,彭健钧主编.--北京:清华大学出版社,2011.8
(21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-24743-2

I. ①嵌… II. ①路… ②彭… III. ①微型计算机—系统开发—高等学校—教材
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 021427 号

责任编辑:梁颖 顾冰

责任校对:白蕾

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjtc@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:24.25 字 数:588 千字

版 次:2011 年 8 月第 1 版 印 次:2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:36.00 元

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生、航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发、软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培养“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人才。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和帮助下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求,教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整和教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多个具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

嵌入式技术广泛应用于工业设备、智能化仪器仪表、汽车、家用电器、消费电子、网络通信、国防军事等领域。在人才需求方面,未来几年对嵌入式系统开发人才的需求将呈现旺盛的趋势。在现今高校教学改革的过程中,引入“嵌入式计算机系统”课程体系已经成为一个引人注目的焦点,嵌入式技术课程正逐渐成为许多高校的重点建设课程。

在嵌入式领域中广泛应用的是 ARM 系列的处理器,ARM 公司引发了嵌入式领域的一场革命,在低功耗、低成本的嵌入式应用领域确立了其市场领导地位,是目前 32 位市场中使用最广泛的微处理器。以 ARM 为架构的嵌入式技术具有非常广阔的前景。

本书根据嵌入式系统的发展趋势,针对 ARM 嵌入式处理器,详细地介绍了嵌入式系统开发的方法和技巧。本书在编写过程中,遵循“学科体系完整,理论实践结合”的编写要求,内容组织上充分体现了学习的层次性、由易到难的渐进性、注重实践性等特点。全书分为 4 篇共 10 章。

第一篇为基础理论篇,由第 1 章和第 2 章组成。本篇引导大家走进嵌入式技术的领域,对嵌入式系统产生整体的认识。第 1 章主要介绍嵌入式系统的基础知识,包括嵌入式系统的定义、组成和特点,回顾其发展历程以及应用。第 2 章系统地介绍嵌入式系统软硬件的基本概念、原理和组成,从而使读者了解嵌入式系统与普通 PC 体系结构的区别,讲解了嵌入式系统的开发周期,重点讲解了嵌入式系统的开发模式,交叉编译环境的建立和特点等。

第二篇为 ARM 基础编程篇,包括第 3~5 章。本篇讲解 ARM 处理器的体系结构、工作原理,ARM 处理器编程的基础知识,通过硬件实验掌握 ARM 处理器的接口知识。第 3 章介绍 ARM 的存储系统、采用的流水线工作方式,重点阐述 ARM 处理器的工作模式、ARM 寄存器的构成和异常中断。第 4 章在介绍 ARM 编程知识的基础上(包括 ARM 指令操作数的寻址方式、各类 ARM 指令的使用方法),重点讲解 ARM 汇编语言设计方法和使用技巧。第 5 章旨在掌握无操作系统的嵌入式系统的开发方法,基于 Intel Xscale PXA270 处理器重点讲解 GPIO、异步通信 UART 和中断控制器三个模块的使用方法。

第三篇为嵌入式 Linux 系统编程篇,包括第 6~8 章。本篇结合嵌入式 Linux 系统,讲解基于嵌入式操作系统之上的嵌入式系统的开发方法和技巧。第 6 章主要讲解基于 EELiod 270 开发平台,嵌入式 Linux 系统的交叉开发环境的搭建过程。第 7 章阐述了嵌入式 Linux 系统启动程序的实现原理,给出了嵌入式 Linux 内核的移植和裁剪方法,并详细介绍了嵌入式 Linux 根文件系统的构建过程。第 8 章重点讲解嵌入式 Linux 系统的编程基础,包括进程的控制、信号的基本概念,进程间的通信,以及线程的基本概念、编程方法。

第四篇为基于 ARM 嵌入式 Linux 系统的开发篇,包括第 9 章和第 10 章。本篇介绍基于嵌入式 Linux 操作系统之上,ARM 处理器的驱动程序的开发和嵌入式图形用户界面的开发。第 9 章在系统地介绍了基于 2.6 内核的设备驱动的原理,重点讲解了字符设备驱动程序的编写,并通过测试程序说明了字符设备的使用方法。第 10 章基于 EELiod 实验平台介绍 Qt/Embedded 和 Qt/ia 的移植过程,并结合实例对 Qt 编程进行了具体的讲解。

本书在内容选材上力求反映当今嵌入式技术的发展趋势和新成果、新技术,注重理论性,突出应用性。本书依据嵌入式系统软硬件相结合的特点,基于 Intel Xscale PXA270 处理器,讲解内容丰富,实用性强,并结合具体实例,详细说明了实验过程、操作步骤,使理论知识更易理解。

本书参编人员长期从事嵌入式技术的教学和科研工作,在计算机学科建设、课程建设、嵌入式系统开发的实践方面具有丰富的经验。他们以多年来在课堂教学和实际开发应用系统中积累的经验体会为基础,选材新颖,从实用的层次上论述嵌入式系统的开发与应用技术,学科体系完整,突出实践,各章节内容系统、详略得当,注重培养学生的综合应用能力,符合教学规范。本书适合作为高等院校计算机、网络、自动化、通信及其相关专业高年级本科生、研究生学习嵌入式系统开发的教材和培训单位的教学资料,也可作为从事 ARM 嵌入式应用开发技术人员的参考书。

本书第 1~5 章由大连工业大学路莹编写,第 6~10 章由大连工业大学彭健钧编写。在本书的编写过程中,深圳市亿道电子技术有限公司的何章龙、潘孟启、喻继燊等,大连华信计算机技术股份有限公司新技术培训中心的陈金浩提供了许多帮助,并给予编者热情的支持和鼓励。在此,作者表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者提出批评意见。

作 者

2011 年 4 月

目 录

第一篇 基础理论篇

第 1 章 嵌入式系统基础知识	3
1.1 嵌入式系统概述	3
1.2 嵌入式系统的定义	4
1.3 嵌入式系统的发展阶段	5
1.4 嵌入式系统的应用	5
小结.....	8
习题.....	8
第 2 章 嵌入式系统的体系结构	9
2.1 嵌入式组成结构概述	9
2.2 嵌入式系统的硬件构成.....	10
2.2.1 嵌入式处理器	11
2.2.2 嵌入式存储器	13
2.2.3 外设及接口	15
2.2.4 输入输出设备	16
2.3 嵌入式系统的软件构成.....	17
2.3.1 中间部件	17
2.3.2 嵌入式操作系统	17
2.3.3 嵌入式应用程序	20
2.4 嵌入式系统开发的流程.....	20
2.4.1 嵌入式系统开发的特点	20
2.4.2 嵌入式系统开发周期	21
2.4.3 嵌入式系统的开发环境	23
小结	26
习题	26

第二篇 ARM 基础编程篇

第 3 章 ARM 处理器概述及其体系结构	29
3.1 ARM 处理器的概述	29
3.1.1 ARM 的设计思想	29

3.1.2	ARM 体系系列的命名规则	30
3.1.3	ARM 处理器系列	33
3.2	ARM 处理器的存储系统	36
3.3	ARM 处理器的状态	38
3.4	ARM 处理器的工作模式	39
3.5	ARM 的寄存器	40
3.5.1	通用寄存器	40
3.5.2	程序状态寄存器	42
3.6	Thumb 状态下的寄存器	44
3.7	ARM 的流水线工作方式	45
3.8	异常中断处理	47
3.8.1	ARM 中异常的种类	47
3.8.2	ARM 异常中断处理	48
小结	.....	51
习题	.....	52
第 4 章	ARM 指令系统	53
4.1	ARM 汇编语言程序设计概述	53
4.1.1	ARM 汇编语言中的程序结构	53
4.1.2	ARM 指令集简介	54
4.1.3	指令的条件执行	55
4.2	ARM 指令寻址方式	56
4.3	跳转指令	60
4.4	数据处理指令	63
4.4.1	数据处理指令简介	63
4.4.2	第二个操作数	63
4.4.3	数据传输指令	65
4.4.4	算术运算指令	67
4.4.5	逻辑运算指令	69
4.4.6	比较指令	70
4.4.7	测试指令	71
4.5	乘法指令与乘加指令	72
4.6	Load/Store 内存访问指令	75
4.6.1	单寄存器 Load/Store 指令	75
4.6.2	多寄存器传送指令	78
4.6.3	交换指令	83
4.7	状态寄存器访问指令	84
4.8	异常产生指令	86
4.9	协处理器指令	87

4.9.1	协处理器数据操作	88
4.9.2	协处理器数据传送指令	88
4.9.3	协处理器寄存器传送指令	89
4.10	伪指令	91
4.11	Thumb 指令集及其应用介绍	93
小结	.....	95
习题	.....	95
第 5 章	ARM 嵌入式接口技术	97
5.1	Intel PXA270 处理器概述	97
5.1.1	Xscale 内核的特点	97
5.1.2	PXA270 处理器的结构	98
5.2	EELiod270 平台概述	100
5.3	GPIO 模块	101
5.3.1	GPIO 的原理和特点	101
5.3.2	PXA27x 的 GPIO 寄存器简述	107
5.3.3	GPIO 的应用举例	111
5.3.4	GPIO 的综合实例	113
5.4	UART 异步串行模块	116
5.4.1	异步串行接口介绍	116
5.4.2	UART 模块简介	119
5.4.3	异步串行接口寄存器的使用和配置	122
5.5	异步串行接口使用实例	130
5.5.1	采用查询方式发送/接收数据	130
5.5.2	中断处理完成发送/接收数据	134
5.6	中断处理	134
5.6.1	中断原理	135
5.6.2	Intel PXA270 中断控制器结构	137
5.6.3	中断源	138
5.6.4	主要寄存器介绍	139
5.6.5	中断控制器的使用	141
5.6.6	综合应用实例	142
小结	.....	148
习题	.....	149

第三篇 嵌入式 Linux 系统编程篇

第 6 章	嵌入式开发环境的构建	153
6.1	嵌入式交叉编译环境介绍	153

6.2	minicom 的配置与使用	154
6.2.1	串口通信参数的设置	154
6.2.2	利用串口通信文件传输	156
6.3	交叉编译环境的建立	158
6.3.1	安装交叉编译工具	158
6.3.2	交叉编译环境的测试	161
6.4	网络数据传输	162
6.4.1	IP 地址的设置	162
6.4.2	网络文件系统的配置	163
6.4.3	FTP 的使用方法	164
6.5	Makefile	165
6.5.1	Makefile 的基本结构	165
6.5.2	Makefile 中的变量	167
6.5.3	隐含规则	169
6.5.4	文件引用	170
6.5.5	Makefile 中的函数	170
6.5.6	运行 make	170
6.5.7	Makefile 综合实例	171
小结	.....	174
习题	.....	175
第 7 章	嵌入式 Linux 系统的构建	176
7.1	嵌入式 BootLoader 技术	176
7.1.1	BootLoader 的基本概念	176
7.1.2	常见的 BootLoader	177
7.1.3	BootLoader 程序架构分析	180
7.1.4	BootLoader 程序的编译	188
7.1.5	BootLoader 的下载	188
7.2	嵌入式 Linux 内核的移植	193
7.2.1	内核源代码目录介绍	193
7.2.2	内核的配置系统	194
7.2.3	Kbuild Makefile 的语法	197
7.2.4	编译内核的常用命令	199
7.2.5	内核配置项介绍	199
7.2.6	Linux2.6 内核的移植	208
7.3	嵌入式根文件系统的构建	211
7.3.1	嵌入式根文件系统简介	211
7.3.2	Linux 文件系统的种类与特点	211
7.3.3	利用 Busybox 软件制作嵌入式文件系统	212

小结	217
习题	218
第 8 章 嵌入式 Linux 系统编程	219
8.1 嵌入式 Linux 简介	219
8.2 进程控制概述	220
8.2.1 Linux 进程简介	220
8.2.2 进程的状态	220
8.3 进程控制编程	221
8.3.1 进程的创建	221
8.3.2 system 函数	226
8.3.3 exec() 函数族替换进程	227
8.3.4 wait() 和 waitpid() 函数	231
8.3.5 Linux 守护进程	237
8.4 信号	241
8.4.1 信号概述	241
8.4.2 信号相关的函数	243
8.4.3 信号集	247
8.4.4 信号处理	249
8.5 进程间的通信	254
8.5.1 管道通信	255
8.5.2 标准 I/O 流管道	259
8.5.3 FIFO 管道	260
8.5.4 共享内存	265
8.5.5 消息队列	273
8.6 线程的控制编程	278
8.6.1 线程概述	278
8.6.2 Linux 线程的基本操作	279
8.6.3 线程的属性	282
8.6.4 线程同步	284
小结	290
习题	291

第四篇 基于 ARM 嵌入式 Linux 系统的开发篇

第 9 章 嵌入式 Linux 设备驱动开发	295
9.1 设备驱动概述	295
9.2 模块机制	296
9.3 驱动程序的开发方法	302

9.3.1	设备标识	302
9.3.2	设备驱动程序的结构体	303
9.4	驱动程序的基本框架	305
9.5	嵌入式 Linux 字符设备驱动	311
9.5.1	Linux 字符设备驱动结构	311
9.5.2	字符设备驱动编程实例	313
9.5.3	字符设备驱动加载介绍	326
小结		328
习题		328
第 10 章	嵌入式图形用户界面	329
10.1	嵌入式图形用户界面简介	329
10.2	常见的嵌入式图形用户界面	330
10.3	Qt 图像开发工具	331
10.3.1	Qt 与 Qt/E	331
10.3.2	信号和槽	333
10.4	基于 Qt/E 的嵌入式 GUI 开发环境的构建	335
10.4.1	使用的相关工具	335
10.4.2	Qt/Embedded 的编译设置	336
10.4.3	移植的操作流程	337
10.4.4	针对 ARM 开发平台的 Qt/Embedded 的编译步骤	337
10.5	Qt 的工具	341
10.5.1	Qt 设计器	341
10.5.2	Qt Creator	348
10.6	Qt 编程	353
10.6.1	窗口的基础类 QWidget	353
10.6.2	程序主窗口 QMainWindow	353
10.6.3	布局管理器	357
10.6.4	信号和槽机制的实例	359
10.6.5	2D 绘图	362
小结		368
习题		369
参考文献		370

第一篇 基础理论篇

第 1 章 嵌入式系统基础知识

随着数字信息技术和网络技术的高速发展,嵌入式技术成为当前最热门的技术之一。嵌入式系统开发势头迅猛,应用的领域日益广阔,正在成为带动 IT 产业发展的新增长点。在工业控制领域,与国民生产、通信、医疗、航天、交通相关的嵌入式应用持续快速增长,同时随着智能设备终端应用市场的快速发展,嵌入式系统(embedded system)已经渗透到人们工作和生活的方方面面。

本章主要介绍嵌入式系统的基础知识,包括嵌入式系统的定义、组成和特点,回顾其发展历程以及应用。引导大家走进嵌入式技术的领域,对嵌入式系统产生整体的认识,真正体会嵌入式系统在人们生活中的无处不在。

1.1 嵌入式系统概述

在 20 世纪 70 年代,微处理器的出现,以小型、价廉、高集成化的特点让计算机从以往特殊的机房里面走了出来。微型机的高处理、高计算能力引起了专业人士的兴趣,要求将微型机嵌入到某一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。因此,在微机时代,就诞生了嵌入式系统。

进入 21 世纪以来,嵌入式系统已经成为非常热门的研究领域。如果说 PC 的出现构建了信息产业的框架,推动了整个信息产业和人类文明的发展,那么嵌入式系统的发展将会更加完善这个框架,并成为信息产业发展的加速器。由于嵌入式系统所依托的软硬件技术的发展,这几年嵌入式系统发展的步伐不断加快。根据美国嵌入式系统专业杂志 RTC 报道,在 21 世纪初的 10 年中,全球嵌入式系统市场需求量具有比 PC 市场大 10 倍到 100 倍的商机。中国拥有世界上最大的消费电子产品市场,手机、彩电、VCD、家用电器等的拥有量都居世界第一。随着经济水平的提高和消费结构的改变,人们对消费电子产品的要求越来越高,如产品的灵活性、可控性、耐用性、高性价比等,这些都可以通过合理、有效的嵌入式系统设计和优化来实现。另外,在现代化的医疗、测控仪器和机电产品中对系统的可靠性、实时性要求较高,更需要有专用的嵌入式系统的支持,这些需求都极大地刺激了嵌入式系统的发展和产业化的进程。

随着技术的发展,业内对嵌入式系统的认识也越来越清晰。嵌入式系统是微处理器、大规模集成电路、软件技术和各种具体的行业应用技术相结合的系统。可以说,嵌入式系统是不可垄断、需要不断创新的技术。

1.2 嵌入式系统的定义

根据国际电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)的定义,嵌入式系统是控制、监视或者辅助设备、机器和生产线运行的装置(devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。这主要是从产品的应用角度加以定义的,由此可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体,可以涵盖机械等附属装置。

目前被我国科学家普遍认同的定义是:嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格的专用计算机系统。

嵌入式系统是专用计算机系统,与通用型计算机系统相比具有以下特点:

(1) 以应用为中心

嵌入式系统之所以有广阔的市场,就是因为嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的。嵌入式 CPU 工作在为不同的、特定的用户群设计的系统中,把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部,具有低功耗、体积小、集成度高等特点,有利于嵌入式系统设计趋于小型化,移动能力大大增强,跟网络的耦合也越来越紧密。

(2) 以计算机技术为基础

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。这就对从事嵌入式技术的开发人员提出了较高要求,他们既要具备扎实的计算机科学、工程开发的专业知识,同时还需要掌握相关应用行业的领域知识。从事嵌入式技术的开发人员往往是跨专业的综合型人才。

(3) 软件和硬件可裁剪

嵌入式系统针对特定应用的专用计算机系统,要按照有限的功能需求,对系统的软硬件进行最优化设计。嵌入式系统的硬件和软件要根据用户的需求进行综合性的设计。一方面,需要选择嵌入式处理器的种类、型号,对其芯片的配置进行缩减或扩展,实现理想的资源组合和较低的成本;另一方面,嵌入式软件各组件或模块设计需要量体裁衣,去除冗余,力求在有限的硬件资源环境下实现更高的性能。

(4) 对系统性能要求严格

嵌入式处理器在功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、EMC(电磁兼容性)等方面均受到应用要求的制约。嵌入式系统通常要求小型“轻量化”低功耗及低成本,以满足大批量生产的需要。因此与 PC 相比,嵌入式系统的软硬件资源十分有限,不追求过高的 CPU 主频,以降低功耗;存储器容量也很小,这对系统软硬件配置及应用软件编制提出了更苛刻的要求。对于面向控制应用的嵌入式系统,可靠性要求高于通用 PC。比如汽车和生产线中的嵌入式系统,任何误动作都可能导致致命的后果。而且很多嵌入式系统的控制对象对控制执行的响应时间有严格要求,即系统必须在限定的时间内做出响应,这被称为系统的实时性要求。

(5) 软件的固件化

嵌入式系统是一个软硬件高度结合的产物。为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式