

国外计算机科学经典教材

嵌入式系统

—— 体系结构、编程与设计

(第 2 版)

(印度) Raj Kamal 著
贾建斌 李 化 译

清华大学出版社

北 京

Raj Kamal

Embedded Systems: Architecture, Programming and Design, Second Edition

EISBN: 978-0-07-066764-8

Copyright © 2008 by Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Tsinghua University Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Tsinghua University Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和清华大学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权© 2010 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与清华大学出版社所有。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2009-4749

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签，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——体系结构、编程与设计(第2版)/(印度)卡莫尔(Kamal, R.) 著；贾建斌，李化 译。
—北京：清华大学出版社，2010.3

书名原文：Embedded Systems: Architecture, Programming and Design, Second Edition

(国外计算机科学经典教材)

ISBN 978-7-302-21894-4

I. 嵌… II. ①卡… ②贾… ③李… 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 241947 号

责任编辑：王 军 郑雪梅

责任校对：胡雁翎

出版发行：清华大学出版社

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

社 总 机：010-62770175

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者：清华大学印刷厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：46 字 数：1119 千字

版 次：2010 年 3 月第 1 版 印 次：2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：98.00 元

装帧设计：康 博

责任印制：何 芊

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编：100084

邮 购：010-62786544

国外计算机科学经典教材

编审委员会

主任委员：

孙家广 清华大学教授

副主任委员：

周立柱 清华大学教授

委员（按姓氏笔画排序）：

王成山	天津大学教授
王 珊	中国人民大学教授
冯少荣	厦门大学教授
冯全源	西南交通大学教授
刘乐善	华中科技大学教授
刘腾红	中南财经政法大学教授
吉根林	南京师范大学教授
孙吉贵	吉林大学教授
阮秋琦	北京交通大学教授
何 晨	上海交通大学教授
吴百锋	复旦大学教授
李 彤	云南大学教授
沈钧毅	西安交通大学教授
邵志清	华东理工大学教授
陈 纯	浙江大学教授
陈 钟	北京大学教授
陈道蓄	南京大学教授
周伯生	北京航空航天大学教授
孟祥旭	山东大学教授
姚淑珍	北京航空航天大学教授
徐佩霞	中国科学技术大学教授
徐晓飞	哈尔滨工业大学教授
秦小麟	南京航空航天大学教授
钱培德	苏州大学教授
曹元大	北京理工大学教授
龚声蓉	苏州大学教授
谢希仁	中国人民解放军理工大学教授

译者序

嵌入式系统是以计算机技术为基础，以特定应用为中心的专用计算机系统。目前嵌入式系统已经渗透到人们生活中的每个角落，工业自动化、服务设施、家用电器、电梯、空调、安全系统、自动售货机、消费电子等。从小朋友的玩具到人类探索火星的探测车，从人们使用的银行卡、信用卡到移动电话、数码相机、汽车，嵌入式系统产品无处不在。嵌入式系统正在深刻改变人类生活。

本书是著名教授 Raj Kamal 所著的《嵌入式系统——体系结构、编程与设计》的第 2 版。第 1 版出版后，受到了广大嵌入式系统学习和设计人员的广泛欢迎，它以深入浅出的讲解和详尽的示例全方位地介绍了嵌入式系统的基本知识和设计开发过程，是嵌入式系统初学人员的理想学习资料，也可以作为嵌入式系统设计人员非常好的参考资料。

随着嵌入式系统研究和应用的深入，嵌入式系统设计和开发也体现出了新的特点：一是系统中更多地使用了专用处理器、DSP 和 SOC 等多种处理单元；二是无线通信模块成为嵌入式产品的重要部分，甚至是必不可少的部分；三是嵌入式操作系统的应用更加广泛；四是嵌入式系统硬件软件的设计开发过程更为规范化。本书在第 1 版内容的基础上，对这些新特点进行了针对性的介绍和调整。本书延续了第 1 版的讲述风格，在文中使用了大量的示例来帮助读者理解相关知识。巧克力自动售卖机、智能卡、移动电话和数码相机等典型示例贯穿了全书各个章节，使读者可以从全局的角度理解和考虑嵌入式系统设计开发的各个环节。

本书在第 1 版的基础之上增加了关于无线技术和无线网络方面的内容，还增加了对 Windows CE、OSEK 和 RTLinux 等实时操作系统的介绍。另外根据嵌入式系统开发的发展变化，对嵌入式软硬件设计与开发的有关内容进行了调整。与第 1 版相比，在内容的讲述上更加脉络分明，使读者对嵌入式系统从设计、开发到最终的测试和调试的全过程有一个清晰的理解。

本书由国防科学技术大学贾建斌、李化翻译完成，译者在翻译过程中查阅了大量资料，力求准确。原版英文书籍为了压缩空间，很少进行代码的缩进和换行，给读者阅读代码和伪代码增加了困难，翻译过程中，我们调整了某些代码的格式，以增加可读性。由于译者水平有限，可能存在疏漏和错误之处，恳请读者批评指正。

前言 I

儿童玩耍的智能视频游戏和商店里的巧克力自动售卖机都需要用到嵌入式系统，年轻人看电影的智能卡也需要嵌入式系统；家庭主妇所使用的许多兼容 Internet 的智能化家庭用品(如微波炉、视听系统等)都需要嵌入式系统；驾驶员需要嵌入式系统实现汽车的自动巡航控制。各个单位和机构需要嵌入式系统用于网络系统和产品。嵌入式系统的应用不胜枚举。

有 3 本著作不仅对我产生了巨大的影响，并且还加强了我对嵌入式系统的深入理解，引发了我对基于微处理器和微控制器的嵌入式系统的浓厚兴趣。首先是由 J.B. Peatman 编写，McGraw-Hill 出版公司在 1998 年出版的 *Design with Microcontrollers and Microcomputers*。其次是由 Kenneth Hintz 和 Daniel Tabak 编写，McGraw-Hill 出版公司在 1992 年出版的 *Microcontrollers Architecture, Implementation and Programming: HD44795, MC68HC11, MCS-51, 80960CA*。第三本是由 Daniel Tabak 编写，McGraw-Hill 出版公司在 1995 年出版的 *Advanced Microprocessors*。

过去，嵌入式系统是采用微处理器(如 8085)设计的。其应用比较简单，例如温度监控系统、使用 ADC 和 DAC 的数据采集系统、使用适当接口的音乐系统以及使用步进电动机接口的简单机器人系统。现在，这些系统有时候甚至不被视为嵌入式系统。

从 20 世纪 80 年代初开始，小型嵌入式系统使用通用仪器公司(General Instruments Corporation)生产的微控制器，使用该公司 70 年代末的微控制器 PIC 16xxx、Motorola 微控制器 68HC05/08 以及 8031 系列的 Intel 微控制器。应用广泛的小型嵌入式系统还包括遥控电视、手表、洗衣机、烤箱、计算器、数字日记和视频游戏。80 年代末，Intel 8051/52、Motorola 68HC11/12、Intel 80196 和 80960 系列微控制器的出现，使嵌入式系统硬件的使用更加多元化。

在最近几年，出现了将低级和高级处理硬件单元和专用处理器嵌入到一个芯片中的技术，从而出现了多处理器系统的嵌入式系统、单芯片 VLSI(称为片上系统)，这些系统具有智能化功能，且高度复杂。一个简单的示例就是智能卡，以及最近出现的典型复杂系统示例——嵌入式系统智能照相机，该系统由 Princeton 大学嵌入式系统小组开发，并由 Wayne Wolf 和他的团队于 2002 年 9 月在 IEEE Computer Society 出版的 *IEEE Micro* 上发布。

根据时间和理解的不同，嵌入式系统的定义也不同。嵌入式系统被定义为：将嵌入软件的计算机硬件作为其重要组成部分的系统。嵌入式系统是专用于各类实际应用或者产品且基于计算机的一种系统。它解决了系统中各种任务响应时间受限的问题。嵌入式系统可以是独立的系统，也可以是较大系统的一部分。它的软件通常嵌入在 ROM(只读存储器)

中。因此,它不像计算机一样需要辅助存储器。

本书兼顾了工科研究生、初级读者和对嵌入式系统感兴趣的读者的需要,他们今天是处于萌芽期的嵌入式系统工程师,明天就有可能成为这些系统的主设计师。此外,本书也适用于对嵌入式软件和实时编程项目感兴趣的年轻软件工程师。本书旨在解释设计高性能、响应时间受限制的复杂嵌入式系统所需要的概念,可作为高等院校师生的教材,或者工程师的参考书。

希望本书的读者首先学习嵌入式系统体系结构、在系统开发过程中要使用的基本硬件和软件元素、编程模型和软件工程实践,然后学习将代码嵌入到系统中的软件技术。还希望读者能够设计出充分利用系统资源(处理器、存储器、端口、设备和电能)的系统。本书的写作宗旨也正在于此。

本书主要介绍设计嵌入式系统的新技术和工具。我们将帮助读者很容易地理解这方面的内容。其次,学生必须在他们选择的领域里开发出有用的项目。例如:网络、通信、汽车电子、数据采集和存储、服务、处理及保护信息、智能机器人、实时控制和跟踪系统、生物医学系统,以及声音、图像和视频的实时处理、过滤、压缩和加密系统。

全书各章内容如下:

第1章

本章将详细介绍嵌入式系统的基础内容。嵌入式系统硬件包括处理器、存储器设备、I/O 设备和基本硬件单元——电源、时钟和复位电路、访问外设的 I/O 端口和其他片上和片外单元。物理设备有 UART、调制解调器、收发器、时钟计数器、小键盘、键盘、LED 显示单元、LCD 显示单元、DAC 和 ADC 以及脉冲拨号电路等。本章将介绍这些硬件单元、嵌入式软件、最新的嵌入式系统和 RTOS,还将提供一些应用示例。

第2章

本章将通过处理器和存储器的组织结构介绍嵌入式系统体系结构。读者将学习嵌入式系统中提供处理功能的处理器结构单元,还将学习到存储器设备。第2章中还将介绍一种给定嵌入式系统处理器和存储器的选择方法,并解释将存储器块和段分配给数据结构所依赖的基础知识、存储器映射概念和 DMA 概念,以及存储器、设备、IO 设备和处理器如何进行接口。

第3章

本章将描述各种设备(并口和串口设备、时钟设备、同步、等时同步和异步通信设备)以及连接这些设备的重要总线,还将描述设备端口的复杂接口特性。本章还将描述 I²C、CAN、USB、高级串行高速总线、ISA、PCI、PCIX、高级并行高速总线。

第4章

本章将集中讨论设备驱动程序。它们是嵌入式系统中重要的服务例程。此外还将阐述设备驱动程序和网络函数。设备驱动程序是结合示例描述的。对中断服务和处理器机制的理解是嵌入式系统设计者应该具有的基本知识。第4章将集中讨论这些问题,详细描述中断延迟和最终期限的概念。这个概念对于嵌入式系统的实时编程很有用。

第 5 章

本章将描述用嵌入式 C/C++/Java 语言进行嵌入式系统编程的编程概念和源代码管理工具,并全面说明嵌入式系统中指针和数据结构的使用。还将介绍的重要概念有:循环中多函数调用的使用;函数指针、函数队列的使用;中断服务例程(还有设备驱动程序)的排队;数据结构;队列、堆栈和链表。本章还将介绍使用 C++和 Java 语言的面向对象编程概念。在嵌入式系统中,存储器优化是很重要的。那么如何进行优化呢?本章将解答所有这些问题。

第 6 章

本章将阐述单处理器和多处理器系统软件开发过程中的程序建模概念,还将说明数据流和控制数据流图的使用;实时编程过程中的程序模型和 FSM 及 Petri 网的使用。本章还将回答一些重要的问题:如何对微处理器建模,以及如何调度和同步处理器指令的执行。

第 7 章

本章将介绍嵌入式系统开发过程中的软件工程实践和方法,描述线性序列模型、RAD(快速应用开发)模型和其他重要模型,包括基于组件的(面向对象的)软件开发过程模型。本章还将介绍软件需求分析、设计、实现、测试、调试和验证策略,并讲述一种重要的设计语言——UML 语言。

第 8 章

本章将介绍实时编程最重要的内容:进程间通信。首先将介绍进程、任务和线程的概念,其次将描述信号量的使用。本章还将详细介绍信号、互斥、消息队列、邮箱、管道、虚拟(逻辑)插槽和远程调用的概念。

第 9 章

本章将阐述 RTOS 的概念,首先介绍 OS 结构和内核功能,然后介绍进程、存储器、设备、文件和 IP 子系统管理功能,最后介绍 RTOS 对多任务的调度管理。在此基础上,进一步解释周期、循环、抢占式、时间片以及其他调度模型如何实时调度多任务,同时还将描述 RTOS IEEE 标准。本章重点介绍对多进程间同步的 15 点策略。

第 10 章

本章将结合示例,详细介绍两种最重要的 RTOS 工具——mC/OS-II 和 VxWorks。

第 11 章

本章将描述关于 RTOS 编程的 4 个案例研究,分别是巧克力自动售卖机系统、TCP/IP 网络系统、汽车中的自适应巡航控制系统和智能卡。

第 12 章

本章将描述硬件和软件设计以及集成方法和工具,解释嵌入式系统开发过程行为计划,还将阐述目标系统、仿真器、ICE 的使用;用于将最终代码下载到 ROM 中的设备编程器的使用;代码生成工具(汇编器、编译器、加载器和链接器)、模拟器、原型开发工具和 IDE 的使用。此外,还将介绍硬件测试工具。

附录

为了指导课程设计人员和教师,附录给出了这些课程中建议使用的单元。

本书还给出了上百种参考书、网站和期刊杂志。这些将帮助读者对嵌入式系统相关主题进行进一步的研究。

本书7个最突出的特点是:

- (1) 结构合理、内容系统、主题安排逻辑性强。
- (2) 对嵌入式系统编程概念、OS、RTOS 函数和进程间同步进行了详细介绍。
- (3) 特别提到了在单芯片或者多芯片系统的软件开发过程中程序的建模,以及软件工程实践的使用。
- (4) 详细介绍了端口、设备、用于设备互连的总线和设备驱动程序。
- (5) 在消费类电子、通信和汽车电子以及安全事务片上系统中 RTOS 编程的创新案例研究。
- (6) 同时介绍了两种 RTOS——mC/OS-II 和 VxWorks,主要集中在 RTOS 函数应用方面。
- (7) 表达明晰,突出强调示例,并具有良好的设计的图片和表格、关键字及其定义,每章最后还包括了问题回顾和实践。

本书尽可能地给出正确的信息和示例代码以及工具。然而,错误在所难免。敬请广大读者批评指正。

欢迎教师、学者、软件工程师和系统工程师提出宝贵意见,以进一步提高本书的质量。请将建议和问题发到 wkservice@vip.163.com。

RAJ KAMAL

前言 II

设计嵌入式系统需要专业的软件和硬件团队。在一本书中同时介绍硬件和软件的内容,而且还要考虑到多个学科专业学生的需要,这是一个非常艰巨的任务。所幸之前的版本很好地实现了这个任务,它在整个印度乃至全球范围内都获得了积极的响应。初略估计,仅在印度就有 80 000 名工学和职业培训学生成为本书第一时间的读者。本书最初在印度出版,之后由 McGraw-Hill 授权在中国和韩国翻译出版,另外还有在新加坡出版的国际学生版和纽约出版的 McGraw-Hill 美国版。

本书第 1 版出版后,出现了两方面的发展变化:(1)大量的科技进步成果日新月异。(2)许多大学在多个工学学科的本科教学大纲中引入了嵌入式系统课程,例如计算机工程与科学、信息技术、电子和通信技术以及仪器与控制工程。

第 2 版的编写考虑到了上面所提到的这些新发展。除了提供更加简洁的表述外,依然考虑到了多学科专业学生的需求。

新版本包括了几个新内容,最重要的有“嵌入式系统设计过程”、“形式化系统设计”、“无线通信设备”、“支持 Internet 的系统”、“无线和移动系统协议”以及“Windows CE 和 RTLinux 实时操作系统”。

读者在所有案例研究中都会发现软件工程实践和 UML 建模的应用。另外还会看到三个新的案例研究(数码相机、机器人管弦乐队以及移动电话 SMS 创建和发送)。

此外,自从第 1 版发行以后,我接触了许多老师和学生,并且几乎定期从他们那里收到反馈信息。第 2 版的各章已经给一些年轻的专业工程学院老师先行阅读,并得到了他们的直率评论,在最终出版时考虑了他们提出的大部分宝贵建议和批评。

本书迎合了不断渴求知识的年轻人思想,同时也可以作为需要学习最新主题的专业人员的实用参考资料。以下是本版的新内容:

- (1) 嵌入式系统的设计过程和系统设计的形式化方法(第 1 章)。
- (2) 8051 的基础知识、现实世界中的接口以及对高级体系结构的介绍(第 2 章)。
- (3) 端口连接的一些额外主题,例如触摸屏接口、SDIO、无线通信设备、支持 Internet 的系统、无线和移动系统协议(第 3 章)。
- (4) 软件中断、中断服务例程以及作为二级中断处理程序的中断服务线程的示例(第 4 章)。
- (5) 定时器和事件函数,使用实时操作系统的基本设计(第 8 章,对应之前版本的第 9 章)。
- (6) 基于宿主和目标与基于自主主机(self-host)的开发方法,以及实时操作系统的类型(第 9 章,对应之前版本的第 10 章)。
- (7) 两种新的实时操作系统——Windows CE 和 RTLinux(第 10 章,一个新章节)。
- (8) 7 个案例研究中软件工程和 UML 建模实践的使用,增加的 3 个案例研究——数码

相机、机器人管弦乐队以及移动电话 SMS 创建和发送(第 11 章和 12 章)。

(9) 本书结尾处的选择书目(第 1 版的突出亮点)更加丰富。

我鼓励每位读者都能够登录本书的网站来获取全面的信息。第 2 版在本书伴随的网站资源方面有了很大的提高。之前版本中名为“嵌入式软件开发过程中的软件工程实践”的一章放在了网站资源中, 请参考 <http://www.mhhe.com/kamal/emb2>。

从新版本中, 学生可以磨练他(她)们解决问题和使用建模实践进行系统设计的技巧, 并且学习到更多关于嵌入式硬件体系结构、接口、总线、软件编程设计和实时操作系统的关键概念。

希望本书能够比第 1 版得到更多人的喜爱。本书适合:

- 计算机科学、信息技术、电子和通信、仪器与控制的本科或研究生工学学生
- 软件专业培训人员
- 嵌入式系统设计专业人员

本书的突出特点

- 清晰阐述了嵌入式硬件体系结构、接口技术、总线和协议、硬件与软件中断、嵌入式软件编程、建模、进程间同步以及实时操作系统
- 通过对示例的全面解释来学习一些广泛应用的实时操作系统—— μ COS-II、VxWorks、Windows CE、OSEK 和 RTLinux
- 深入探讨了构成嵌入式系统硬件和软件设计基础的一些基本方面
- 通过巧克力自动售卖机、数码相机、TCP/IP 栈创建、机器人管弦乐队、自动导航控制、智能卡和移动电话的系统案例研究介绍了系统设计的程序建模和软件工程实践
- 结合了很多适于教学的特点, 例如大量的示例、样例代码以及系统如何设计和编程的演示, 另外还包括每章结尾的术语词汇表、问题回顾和实践练习
- 在本书的附录中详细列出了参考书籍和期刊的选择书目, 以及一些重要的站点链接地址, 方便读者为深入学习嵌入式系统建立启动书库

本书相关的网站资源位于 <http://www.mhhe.com/kamal/emb2>, 该网站定期更新, 它提供的内容包括:

- 问题回顾和实践练习的问题解决指南
- “软件工程和嵌入式系统设计”的详细内容
- 文中所讲 7 个案例研究的附加细节
- 用于测试对每章概念理解的多选题(带有答案)以及它们的解决方法
- 为课堂讲解提供的每章的 PowerPoint 幻灯片

尽管已经做出很多努力以确保文中没有任何错误, 但还是可能遗留有错误之处——如果您能指出这些错误, 我将非常感激。读者对本书内容以及 McGraw-Hill 网站上的在线 PPT 和网站资源材料的反馈可以通过本人网站(<http://www.rajkamal.org>)上的 Query 和 Contact me 发送给我, 非常感谢!

RAJ KAMAL

目 录

第 1 章 嵌入式系统简介 1	
1.1 嵌入式系统 2	
1.1.1 系统 2	
1.1.2 嵌入式系统 3	
1.2 嵌入系统中的处理器 5	
1.2.1 系统中的处理器 5	
1.2.2 微处理器 6	
1.2.3 微控制器 7	
1.2.4 专用处理器 9	
1.3 系统中的嵌入式硬件单元 和设备 10	
1.3.1 电源 10	
1.3.2 时钟振荡电路和时钟单元 11	
1.3.3 系统定时器和实时时钟 11	
1.3.4 复位电路、加电复位和 Watchdog 定时器复位 11	
1.3.5 存储器 12	
1.3.6 输入、输出和 I/O 端口, IO 总线和 IO 接口 14	
1.3.7 DAC(使用 PWM)和 ADC 15	
1.3.8 LCD、LED 和触摸屏显示 17	
1.3.9 小键盘或键盘 18	
1.3.10 脉冲拨号电路、调制解调器 和收发器 18	
1.3.11 中断处理器 18	
1.4 嵌入式系统中的软件 19	
1.4.1 系统的最终机器 可实现软件 19	
1.4.2 用机器码编写软件 20	
1.4.3 用特定于处理器的汇编语言 编写软件 21	
1.4.4 用高级语言编写软件 22	
1.4.5 软件设计的程序模型 24	
1.4.6 并行处理、多任务调度和 使用 RTOS 的 ISR 的软件 24	
1.4.7 使用操作系统的设备驱动 程序和设备管理软件 25	
1.4.8 设计嵌入式系统的 软件工具 26	
1.4.9 示例中需要的软件工具 27	
1.5 示例嵌入式系统 28	
1.6 嵌入式片上系统(SoC)和 VLSI 电路设计技术 30	
1.6.1 专用 IC(ASIC) 31	
1.6.2 IP 核 32	
1.6.3 具有一个或者多个处理器 的 FPGA 核 32	
1.7 复杂系统设计和处理器 32	
1.7.1 嵌入式系统中的微处理器 32	
1.7.2 嵌入式系统中的微控制器 33	
1.7.3 嵌入式系统中的 DSP 33	
1.7.4 嵌入式系统中的 RISC 34	
1.7.5 嵌入式系统中的 ASIP 34	
1.7.6 嵌入式系统中的多处理器 或者 GPP 双核处理器 34	
1.7.7 嵌入式处理器和嵌入式 微控制器 35	
1.7.8 嵌入式系统中的 ARM 处理器 37	
1.7.9 嵌入式系统中的 ASSP 37	

1.8 嵌入式系统的设计过程	38
1.8.1 设计指标	39
1.8.2 设计过程中的抽象步骤	39
1.8.3 嵌入式系统设计中的挑战: 优化设计指标	42
1.9 系统设计的形式化方法	43
1.10 设计过程和设计案例	44
1.10.1 系统设计过程案例	44
1.10.2 巧克力自动售卖机 (ACVM)	44
1.10.3 智能卡	46
1.10.4 数码相机	49
1.10.5 移动电话	51
1.10.6 便携式计算机	52
1.10.7 一组机器人	52
1.11 嵌入式系统的分类	54
1.12 嵌入式系统设计者需要 具备的技能	55
本章小结	56
关键词及其定义	57
问题回顾	61
实践练习	62
第2章 8051 和高级处理器体系结构、 存储器组织和现实中的接口	65
2.1 8051 的体系结构	66
2.1.1 8051 微控制器体系结构	66
2.1.2 指令集	67
2.1.3 IO 端口、电路以及 IO 编程	70
2.1.4 外部存储器接口电路	72
2.1.5 计数器和定时器	73
2.1.6 串行数据通信输入/输出	74
2.1.7 8051 的中断	75
2.2 现实世界中的接口	76
2.2.1 基于系统总线和基于 IO 总线的现实世界接口 IO	76
2.2.2 现实接口中的端口和 设备的 IO 地址	80

2.2.3 现实接口中的设备地址	82
2.2.4 中断和 IO	83
2.2.5 总线仲裁	84
2.2.6 键盘、显示器、A/D 和 D/A 转换设备接口示例	86
2.3 高级体系结构介绍	88
2.3.1 高级处理器体系结构	90
2.3.2 80x86 体系结构	92
2.3.3 ARM	93
2.3.4 SHARC	99
2.3.5 DSP	101
2.4 处理器和存储器组织	102
2.4.1 处理器的组织	102
2.4.2 存储器的组织	105
2.5 指令级并行	109
2.6 性能指标	111
2.7 存储器类型、存储器映射 和地址	111
2.7.1 系统中的存储器	111
2.7.2 存储地址分配	115
2.8 处理器选择	119
2.9 存储器选择	123
本章小结	126
关键词及其定义	127
问题回顾	132
实践练习	132

第3章 设备网络的设备和 通信总线

3.1 I/O 的类型和示例	136
3.1.1 同步串行输入	136
3.1.2 同步串行输出	138
3.1.3 同步串行输入/输出	138
3.1.4 异步串行输入	138
3.1.5 异步串行输出	139
3.1.6 并行端口	139
3.1.7 半双工与全双工	139
3.1.8 串行和并行端口 I/O 示例	140
3.2 串行通信设备	140

第 4 章	设备驱动程序和中断	
	服务机制	195
4.1	不使用中断服务机制的程序	
	查询式 I/O 忙/等待方法	196
4.2	ISR 的概念	198
4.2.1	端口或设备中断及	
	ISR 示例	199
4.2.2	软件中断和 ISR 示例	202
4.2.3	作为级中断处理程序的	
	中断服务线程	205
4.2.4	设备驱动程序	205
4.3	中断源	206
4.4	中断服务(处理)机制	210
4.4.1	中断向量	210
4.4.2	根据可屏蔽和不可屏蔽的	
	中断分类	213
4.4.3	可屏蔽中断源的启用	
	(未屏蔽)和禁用(屏蔽)	214
4.4.4	状态寄存器或中断	
	挂起寄存器	214

4.5 多中断	215	5.2 C 程序中的元素: 头文件、 源文件以及预处理指令	244
4.5.1 多中断调用	215	5.2.1 用于包含文件的 include 指令	244
4.5.2 硬件分配的优先级	216	5.2.2 源文件	245
4.6 上下文和上下文切换周期、 中断延迟和最终期限	217	5.2.3 配置文件	246
4.6.1 中断延迟	219	5.2.4 预处理指令	246
4.6.2 中断服务的最终期限	221	5.3 程序元素: 宏与函数	246
4.6.3 硬件优先级的软件覆盖以 满足服务的最终期限	223	5.4 程序元素: 数据类型、数据 结构、修饰符、语句、循环 和指针	248
4.7 从上下文保存的角度对处理 器中断服务机制的分类	223	5.4.1 数据类型	248
4.8 直接存储器访问	224	5.4.2 指针和 NULL 指针	249
4.8.1 DMAC 的使用	225	5.4.3 使用数据结构: 队列、 堆栈、链表和树	250
4.8.2 同一中断源产生多个快速 连续中断时的 DMA 通道 使用	226	5.4.4 修饰符的使用	258
4.9 设备驱动程序编程	226	5.4.5 条件语句、循环语句以及 无限循环语句	259
4.9.1 编写系统中的物理设备 驱动 ISR	227	5.4.6 函数调用	264
4.9.2 虚拟设备驱动程序	229	5.4.7 按照循环顺序进行的 多函数调用	266
4.9.3 系统中的并行端口 驱动程序	230	5.4.8 函数指针、函数队列 和 ISR 队列	267
4.9.4 系统中的串行端口 驱动程序	232	5.4.9 发生中断时函数的排列	268
4.9.5 内部可编程定时设备的 设备驱动程序	234	5.5 面向对象编程	270
4.9.6 作为设备驱动和网络 函数的 Linux 内幕	235	5.6 C++嵌入式编程	271
本章小结	236	5.6.1 C++的优点	271
关键词及其定义	237	5.6.2 C++的缺点	272
问题回顾	239	5.6.3 嵌入式 C++程序的代码 优化以消除缺点	272
实践练习	240	5.7 用 Java 进行嵌入式编程	273
第 5 章 编程概念及 C、C++和 Java 的嵌入式编程	241	5.7.1 Java 编程基础	273
5.1 用汇编语言(ALP)和高级语言 C 进行软件编程	242	5.7.2 使用 Java 编程的优点	275
5.1.1 汇编语言编程	242	5.7.3 Java 的缺点	275
5.1.2 高级语言编程	242	5.7.4 J2ME	276
		5.7.5 JavaCard 和嵌入式 Java	277
		本章小结	277
		关键词及其定义	278
		问题回顾	281

实践练习	281	7.7 信号量的概念	325
第 6 章 程序建模的概念	283	7.7.1 作为事件信号变量或通报 变量的信号量的使用	325
6.1 程序模型	284	7.7.2 作为资源键的信号量以及 信号量在临界段中的使用	327
6.2 DFG 模型	286	7.7.3 使用多个信号量同步任务	329
6.2.1 数据流图	286	7.7.4 计数信号量	332
6.2.2 控制数据流图模型	289	7.7.5 P 和 V 信号量	333
6.2.3 同步数据流图(SDFG) 模型	290	7.8 共享数据	339
6.3 用于事件控制程序流的 状态机编程模型	291	7.8.1 多任务和多例程的数据 共享问题	339
6.3.1 有限状态机(FSM)模型	293	7.8.2 共享数据问题的解决方法	340
6.3.2 FSM 状态表	294	7.8.3 信号量的应用与共享 数据问题	341
6.4 多处理器系统的建模	298	7.8.4 共享数据问题的消除	341
6.4.1 多处理器系统	298	7.8.5 优先级反转问题 和死锁情况	342
6.4.2 展开 SDFG 的同构 SDFG 模型	301	7.9 进程间通信	343
6.4.3 展开 HSDFG 的 APEG 模型	302	7.10 信号函数	345
6.4.4 图在多处理器系统中的 应用: 划分和调度	303	7.11 信号量函数	347
6.5 UML 建模	305	7.12 消息队列函数	348
本章小结	309	7.13 邮箱函数	350
关键词及其定义	310	7.14 管道函数	353
问题回顾	311	7.15 套接字函数	355
实践练习	311	7.16 远程过程调用(RPC)函数	359
第 7 章 进程间通信与进程、任务 和线程的同步	313	本章小结	359
7.1 应用程序中的多个进程	314	关键词及其定义	360
7.2 应用程序中的多线程	316	问题回顾	362
7.3 任务	317	实践练习	362
7.4 任务的状态	318	第 8 章 实时操作系统	365
7.5 任务和数据	320	8.1 OS 服务	366
7.6 通过函数、ISR 和任务的 特征进行区分	321	8.1.1 目标	366
7.6.1 无限事件等待循环的 任务编码	321	8.1.2 用户和管态结构	366
7.6.2 函数、ISR 和任务之间 的区别	322	8.1.3 结构	367
		8.1.4 内核	368
		8.2 进程管理	369
		8.2.1 进程的创建	369
		8.2.2 已创建进程的管理	370

8.3	定时器函数	371	8.10.6	固定(静态)实时 调度模型	415
8.4	事件函数	373	8.10.7	周期、突发以及非周期 任务的调度模型中延迟 和最后期限的性能指标	416
8.5	存储器管理	374	8.10.8	使用 CPU 负载作为 性能指标	416
8.5.1	存储器分配	374	8.10.9	突发任务模型作为 性能指标	417
8.5.2	初始分配后的存储管理	374	8.11	操作系统的安全问题	417
8.6	设备、文件及 IO 子系统管理	376	本章小结	418	
8.6.1	设备管理	376	关键词及其定义	419	
8.6.2	文件系统的组织和实现	378	问题回顾	420	
8.6.3	I/O 子系统	380	实践练习	421	
8.7	RTOS 环境中的中断例程 和中断源调用处理	381	第 9 章	实时操作系统编程-I: MicroC/OS-II 和 VxWorks	423
8.7.1	通过中断源以及 ISR 发送 ISR 输入消息直接 调用 ISR	382	9.1	RTOS 的基本函数和类型	424
8.7.2	RTOS 首先响应中断, 接着 OS 调用相应的 ISR	383	9.1.1	基于宿主机/目标机和基于 自主主机的开发方法	425
8.7.3	RTOS 首先响应中断, 之后 初始化 ISR 并运行 ISR	384	9.1.2	RTOS 的类型	426
8.8	实时操作系统	385	9.2	RTOS μ COS-II	427
8.9	使用 RTOS 进行基本设计	386	9.2.1	系统级函数	429
8.9.1	原则	387	9.2.2	任务服务和时间函数 及其使用范例	433
8.9.2	使用信号量和队列 进行封装	394	9.2.3	时间延迟函数	439
8.9.3	硬实时的考虑	396	9.2.4	存储器分配相关的函数	442
8.9.4	节约存储器和功耗	397	9.2.5	信号量相关函数	444
8.10	RTOS 任务调度模型, 作为 性能指标的中断延迟和任务 响应时间	400	9.2.6	邮箱相关函数	456
8.10.1	协作调度模型	401	9.2.7	队列相关函数	465
8.10.2	循环和时间片轮转 调度模型	404	9.3	RTOS VxWorks	473
8.10.3	抢占式调度模型	408	9.3.1	基本特性	475
8.10.4	抢占式调度程序提供的 临界段服务模型	413	9.3.2	系统库头文件中的 任务管理库	477
8.10.5	最早时限优先(EDF) 优先级和速率单调调度 (RMS)模型	414	9.3.3	VxWorks 系统函数 和系统任务	481
			9.3.4	IPC 函数	483
			本章小结	496	
			关键词及其定义	498	