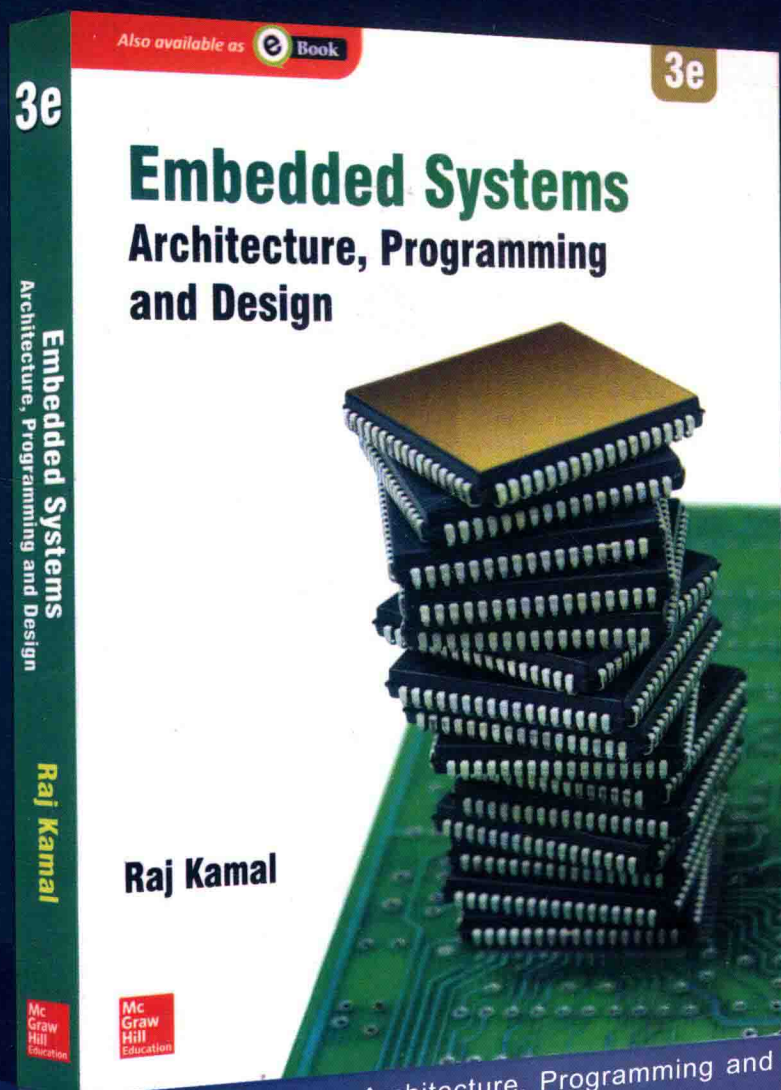


嵌入式系统

体系结构、编程与设计(第3版)

[印] Raj Kamal 著
郭俊凤 译



Embedded Systems: Architecture, Programming and Design, Third Edition

清华大学出版社

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3版)

[印] Raj Kamal 著

郭俊凤 译

清华大学出版社

北 京

Raj Kamal

Embedded Systems: Architecture, Programming and Design, Third Edition

EISBN: 978-93-32901-49-0

Copyright © 2015 by McGraw-Hill Education.

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 and Tsinghua University Press Limited. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2017 by McGraw-Hill Education and Tsinghua University Press Limited.

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有限公司合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)销售发行。

版权©2017 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与清华大学出版社有限公司所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2016-8576

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 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3版)/(印)瑞·卡莫尔(Raj Kamal)著;郭俊凤译.—北京:清华大学出版社,2017

(国外计算机科学经典教材)

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

ISBN 978-7-302-46880-6

I. ①嵌… II. ①瑞… ②郭… III. ①微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 064085 号

责任编辑:王 军 韩宏志

装帧设计:孔祥峰

责任校对:曹 阳

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

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: 北京富博印刷有限公司

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: 185mm×260mm 印 张: 37.5 字 数: 960 千字

版 次: 2017 年 5 月第 1 版 印 次: 2017 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 98.00 元

产品编号: 072323-01

译者序

嵌入式系统以应用为中心，以计算机技术为基础，其软硬件可裁剪以便适应应用系统；嵌入式系统是对功能、可靠性、成本、体积、功耗等具有严格要求的专用计算机系统。随着信息化、智能化、网络化的发展，嵌入式系统技术也将获得广阔的发展和应用空间，其应用领域包括：工业控制、交通管理、信息家电、家庭智能管理系统、POS 网络、电子商务、环境工程、自然科学、机器人等。嵌入式系统是当前最热门、最有发展前途的 IT 应用领域。学习和掌握嵌入式系统后，将可以从事消费类嵌入式电子产品的设计开发、生产制作、安装调试、运行维护、故障分析、产品营销和售后服务等。

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 3 版。设计嵌入式系统需要配备专业的软件和硬件团队。本书同时介绍硬件和软件领域的内容，而且顾及多个学科专业学生的需要，在整个印度乃至全球范围内都获得了积极响应。在所有案例研究中，都能看到软件工程实践和 UML 建模的应用。

新版本在第 2 版的基础上又增加了几个新主题。比较重要的主题有 4 个：嵌入系统设计和开发过程；8051、AVR 和 AMR 微控制器，实际接口，使用总线输入输出；介绍高级体系结构和处理器存储组织；输入输出设备，通信总线和分布式联网嵌入式体系结构。新版本还包含片上系统设计、计算机系统的高级体系结构、分布式联网嵌入式体系结构和车辆技术等令嵌入式系统的学者和研究人员感兴趣的新领域。

本书通过巧克力自动售卖机、数字相机、TCP/IP 栈的创建、机器人管弦乐队、汽车巡逻控制、手机中的智能卡和 SMS 输入系统等案例研究，引导读者学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。读者可通过章末的复习题和实践练习，来锤炼解决问题和使用建模实践进行系统设计的技巧。

本书的第 3 版更具国际性，可用作计算机科学、信息技术、电子通信、仪器和控制工程专业的大学生和研究生的教材，也可用作软件和嵌入式系统的专业入门书籍。专业设计、片上系统设计、计算系统的高级构建、分布式联网嵌入式体系结构、车辆技术领域的学者和研究人员都可以阅读本书，对嵌入式系统的新领域感兴趣的学者和研究人员也能从中获益。

在这里要感谢清华大学出版社的编辑，他们为本书的翻译投入了巨大热情并付出了很多心血。没有你们的帮助和鼓励，本书不可能顺利付梓。

本书全部章节由郭俊凤翻译，参与翻译的还有陈妍、何美英、陈宏波、熊晓磊、管兆昶、潘洪荣、曹汉鸣、高娟妮、王燕、谢李君、李珍珍、王璐、王华健、柳松洋、曹晓松、陈彬、洪妍、刘芸、邱培强、高维杰、张素英、颜灵佳、方峻、顾永湘、孔祥亮。

对于这本经典之作，译者本着“诚惶诚恐”的态度，在翻译过程中力求“信、达、雅”，但是鉴于译者水平有限，错误和失误在所难免，如有任何意见和建议，请不吝指正。

作者简介



Raj Kamal 出生于 1949 年，在 17 岁时获得了理科硕士学位，18 岁时在了一本英国杂志上发表了第一篇研究论文，他的第一个程序用 FORTRAN 编写，当时他 18 岁。22 岁在德里的印度理工学院获得了博士学位。他的博士后研究在世界级大学——瑞典的乌普萨拉大学进行(1978~1979 年)。

Raj Kamal 博士在研究、教学和博士后研究方面具有 46 年的经验。到目前为止，他已经成功指导了 15 位博士生，在富有国际和国家声誉的期刊和会议上发表了约 130 篇研究论文。

他坚持不懈地学习新兴技术，热情地获取最新知识，并主动地传播它们，一些同事称他为“学习机”，一些同事则称他为“人类发电机”。他为计算机、电子、通信和信息技术专业的学生编写了十本教材，包括嵌入式系统、计算机体系结构(被 Schaum 系列采用)、互联网和 Web 技术，由 McGraw-Hill 的印度、韩国、新加坡和美国分部出版。

计算机科学、电子和信息技术领域等新兴领域的学生非常尊敬和喜欢他。他曾在位于 Patiala 邦的 Punjab 大学(1978~1979 年)、Kalasalingam 大学, Tamil Nadu 邦的 Srivilliputtur (2002~2004 年)、Guru Nanak 工程大学、Andhra Pradesh 邦的 Hyderabad(2007~2008 年)工作过。过去 25 年以来，他一直在 Indore 市的 Devi Ahilya Viswavidyalaya 从事教学工作。

前言

本书用作计算机科学、信息技术、电子通信工程专业的大学生和研究生的教材、软件培训研究所的学生课本，也可用作嵌入式系统设计人员的入门书籍。本书采用易于理解、对学生友好的方式编写，包括一些示意图、示例、样例代码和系统设计案例。

嵌入式系统设计需要硬件和软件人员组成的团队。本书阐释了硬件和软件概念，同时把多学科的大学生和研究生作为主要读者。前两个版本成功满足了电子、计算机科学和工程领域的大学生和研究生的要求，还考虑到了培训嵌入式系统的软硬件人员和设计人员。VLSI和片上系统、汽车和车辆、医用电子和机器人等领域的人士和学术界人士也发现，设计和研究领域的创业者应学习本书。

本书前2版在印度和海外热烈反响。大致估计，最近10年，仅印度就有160 000位工程和专业培训的学生，以及软硬件专业人员阅读了本书。本书最初在印度出版，现在出版了中文和韩文版，新加坡和纽约出版了国际学生版和McGraw-Hill USA版。

读者应具备的基本学术背景

作者假定读者学习过基本课程，具有微处理器、微控制器、计算机体系结构和组织、操作系统、C/C++编程技巧等方面的学术背景。

学习新版本的要求

新版本添加了嵌入式系统设计和开发过程的重点内容。这一版考虑了大学生和研究生级别的基本要求，以及近年来电子通信工程、电子工程、设备控制工程、计算机科学和工程、信息技术和计算机应用等领域的嵌入式系统论文提及的变化。

特定的改进和新内容

新版本在第2版的基础上又增加了几个新主题。比较重要的主题有4个：(1)嵌入式系统设计和开发过程；(2)8051、AVR和AMR微控制器，实际接口，使用总线输入输出；(3)介绍高级体系结构和处理器存储组织；(4)输入输出设备，通信总线和分布式联网嵌入式体系结构。

另外，自从上一版以来，作者与一些年轻教师交流，定期收到教师和学生的反馈。新版本的章节也由一些年轻、直率、敬业的工程学院教师审核。希望这一版考虑了大多数有价值

的建议和批评。

对学者和研究人员有价值的新内容

片上系统设计、计算机系统的高级体系结构、分布式联网嵌入式体系结构和车辆技术是嵌入式系统的学者和研究人员感兴趣的新领域。新版本把这些包含进来，作为有价值的新内容。

本书的主要特点

本书独有的特色是解释了软硬件概念，没有过分强调把微控制器、DSP 集成电路或 VLSI 电路作为嵌入式系统，也没有过分强调编程语言和操作系统。

读者会发现如下主题的呈现和描述比较独特：总线判优、I/O设备、接口、通信总线、分布式联网嵌入式体系结构、中断、异常和信号、上下文切换、程序模型、进程、线程和任务、进程间同步、实时操作系统功能。书中的案例研究遵循成熟的软件工程实践。教师会发现，为学生制作演示文稿非常有趣，因为在各个章节中使用了一个通用示例——“巧克力自动售卖机”的软硬件构建和设计。

读者指南

各专业的大学生、研究生、专业培训生的学习路径建议参见附录 A。

希望本书的新版本比第 2 版更具备国际性，用作如下读者的教材和入门书籍：

- (1) 计算机科学、信息技术、电子通信、仪器和控制工程专业的大学生和研究生。
- (2) 软件和嵌入式系统的专业培训课程。
- (3) 专业设计人员、片上系统设计、计算系统的高级构建、分布式联网嵌入式体系结构、车辆技术领域的学者和研究人员，对嵌入式系统的新领域感兴趣的学者和研究人员。

各类课程的学习路径

资深教授和重要设计人员是最好的法官。根据作者的经验，各专业的大学生、研究生和专业培训生可以采用附录 A 中所示的学习路径。

突出特点

- 全面解释了嵌入式硬件体系结构、设计工程和方法、接口技术、总线和协议、软硬件中断、嵌入式软件编程、程序建模、进程间同步、实时操作系统。
- 用示例详尽说明如何学习广泛使用的 RTOS：μCOS-II、VxWorks、Windows CE、OSEK 和实时 Linux。
- 重点介绍构成嵌入式系统的软硬件设计的基础知识。

- 呈现巧克力自动售卖机、数码相机、TCP/IP 栈的创建、机器人管弦乐队、汽车巡逻控制、手机中的智能卡和 SMS 输入等系统的案例研究。
- 解释了程序的建模，系统设计的软件工程实践。
- 每章开头都列出了重要主题，给出了学习目标。
- 样例代码。
- 书末列出了参考书目、期刊引用和重要的 Web 链接，为嵌入式系统的参考和进一步学习提供了一个初步的图书馆。
- 具备便于教学的一些特性，例如包含大量示例、示例代码和案例研究，用 UML 模型设计和图形演示软件工程实践，说明如何设计和编写系统，章末包括重要术语表、复习题和实践练习题。
- 250 幅图片。
- 215 个示例。
- 265 道复习题。
- 200 道实践练习题。

章节的组织

新版的各章内容如下：

第 1 章

该章将详细介绍嵌入式系统的基础内容，包括硬件单元、系统和应用软件的嵌入式 ROM 映像，还介绍开发嵌入式软件、嵌入式系统设计、体系结构和模型的语言。并对系统和系统开发技能要求进行了大致的分类，同时提供了一些应用。

第 2 章

该章介绍 SoC(System on Chip, 片上系统)中嵌入式系统的设计，以及复杂系统中 VLSI 电路设计技术、AISC、IP 核、微处理器、ASIP、微控制器、DSP 和微处理器的使用。该章将讲述设计过程、设计度量、抽象的概念、嵌入式系统设计中的挑战和问题，介绍系统设计和形式。最后给出嵌入式软硬件的 3 个设计示例。

第 3 章

该章说明 8051 体系结构的特性，介绍处理指令、存储器、端口、计数器/计时器，串行输入输出(IO)和中断处理单元，还论述 ATMEL AVR 和 ARM 微处理器。该章描述系统存储器和计算系统中的 IO 总线之间的交互，阐释了总线如何与存储设备、实时设备和组件交互，演示了总线体系结构、总线性能、输入输出性能、多级总线体系结构以及计算机系统总线判优方法。该章探讨在分布式设备和控制器的网络中面向网络的总线判优。

第 4 章

该章将讨论处理器中的高级结构化单元，改进嵌入式系统中的处理能力。读者将学习指令级别的并行、管线、超标量处理和缓存单元、x86、ARM 和 SHARC 体系结构。该章还会讨论存储设备，解释度量处理器性能的性能指标，列出给定嵌入式系统的处理器和存储器选

择方法。

第5章

该章将描述各种设备(并口和串口设备、时钟设备、异步设备)以及连接这些设备的重要总线,还将描述分布式网络体系结构和嵌入式系统的网络,这些系统使用了 I²C、CAN、USB、高级串行高速总线、ISA、PCI、PCI-X、高级并行高速总线。该章还将描述支持互联网的嵌入式设备及其网络协议,并讨论用于嵌入式设备的移动和无线网络的无线协议。

第6章

该章会介绍硬件和软件中断的概念,使用中断服务和处理机制从端口和设备中传输数据,对中断服务和处理机制的理解是嵌入式系统设计者应该掌握的基本知识。该章会解释上下文的概念、上下文切换的阶段、中断延迟和最后期限。该章还会说明数据传输的 DMA 方法,通过示例介绍设备驱动程序。

第7章

该章将描述用嵌入式C/C++/Java语言进行嵌入式系统编程的编程概念,还会讨论C++/Java中面向对象的编程概念。

第8章

该章将阐述事件轮询、顺序、状态机和并行处理编程模型,还将说明数据流和控制数据流图的使用,以及实时编程过程中的程序模型和FSM的使用。该章还将回答一些重要问题:如何对微处理器建模,以及如何调度和同步指令的处理。该章还会使用图片给出UML建模的基础知识。

第9章

该章将介绍实时编程最重要的内容:进程、任务和线程的概念,以及进程间通信。该章将描述信号量的使用,详细介绍信号、互斥、消息队列、邮箱、管道、虚拟(逻辑)插槽和远程过程调用等概念。

第10章

该章将阐述RTOS的概念和核心函数,介绍进程、存储器、设备、文件和IP子系统管理功能。OS控制着中断处理机制,因此执行中断服务例程(Interrupt Service Routines, ISR)和IST(Interrupt Service Threads, 中断服务线程)。RTOS同步了ISR、IST以及进程、任务线程。RTOS允许实时的软硬件操作,还提供了异步IO。该章描述了RTOS环境中多个任务的调度。

第11章

该章介绍了基于UNIX的实时操作系统:PSoS、VRTX、QNX和VxWorks。该章会讨论两个最重要的RTOS工具:C/OS-II和VxWorks,详细呈现在这些RTOS中使用OS函数的编码示例。

第12章

该章介绍POSIX兼容系统和基于RTOS的Linux:实时Linux、嵌入式Linux和RT Linux,

它把 Windows 描述为实时操作系统、手持和汽车实时系统、Windows CE 和 Windows 8 Embedded, 还介绍了 OSEK——汽车应用的操作系统。

第 13 章

该章将描述关于 RTOS 编程的 7 个案例研究, 分别是巧克力自动售卖机系统、数码相机、TCP/IP 网络系统、主从机器人之间的通信、汽车中的自适应巡航控制系统、智能卡中的访问控制和卡主机通信任务、为移动设备中 SMS 文本的密钥使用状态机概念的编码示例。

第 14 章

该章详细介绍软件工具、源代码工程工具、集成开发环境, 还介绍两个开发平台的使用: 主机和目标机。该章讨论了嵌入式系统开发中需要由开发团队解决的问题, 包括独立的软硬件设计、软硬件协同设计, 选择正确的处理器, 分配存储器地址、设备和总线, 以及 OS/RTOS 的端口问题。

第 15 章

该章介绍如何在主机系统中测试系统代码, 因为主机系统有应用开发工具、很大的存储器和窗口或强大的 GUI。该章解释了主机上的如下模拟: 目标处理器或微控制器、外围设备、设备和网络接口。该章介绍了实验室工具、内部电路模拟器和监控器, 它们有助于目标系统的硬件开发, 也有助于在测试环境下测试和调试目标系统软件。

在线学习中心

Web 是教师和学生最好的学习伴侣。我们需要 Web, 就像我们每天需要食物和水一样。新版在 Web 上有许多新增内容, 作为本书的补充, 网址是 <http://www.mhhe.com/kamal/emb3>。嵌入式系统设计的读者可以参考所有的 Web 补充主题。链接如下, 且会定期更新:

适用于教师:

- 复习题和实践练习的答案(已更新)
- 建议的实验室实验
- 适用于整章的 PowerPoint 幻灯片, 带有图片和注释, 可以进行有效演示

适用于学生:

- 关于“嵌入式系统过程的软件工程实践”的章节
- 多选题(已更新)
- 书中所有案例研究的附加信息

需要获取这些资料的读者可填写书末的“麦格劳—希尔教育教师服务表”, 与销售代表联系。

致谢

非常感谢印度德里技术研究院的老教师们(1966~1972)和 Uppsala(瑞典)大学的老师们

(1978~1979, 1984), 他们教会我自学的重要性, 以及跟上新兴技术的重要性。我还要感谢 FNA 的 M S Sodha 教授在我整个学术生涯里对我的支持和祝福。感谢同事 M K Sahu 博士(他是大学计算机中心主任)和 A K Ramani 博士(他未能看到这个新版), 以及电子学院、计算机科学和信息技术学院、工程技术研究所的同事们和年轻教师们给予的一贯鼓励和支持。

我要感谢下述所有审核人员花时间审稿并给出反馈:

Bhargav Chandra kant Gordiya

Birla Vishwakarma Mahavidyalaya (BVM) 工程学院

Vallabh Vidyanagar Nagar, Gujarat

P B Chopde

Vishwakarma 信息技术研究所

Pune, Maharashtra

R K Bayal

Rajasthan 技术大学 (RTU)

Kota, Rajasthan

R Ramesh

Anna 大学工程学院

Chennai, Tamil Nadu

C R N Sharma

Vignana Bharati 技术研究所 (VBIT)

Hyderabad, Andhra Pradesh

J K Mendiratta

Oxford 工程学院

Bangalore, Karnataka

最后, 感谢我的妻子 Sushil Mittal 和家庭成员 Shalin Mittal、Needhi Mittal、Arushi、Atharv、Shruti、Ishita、Dr Atul Kondaskar、Dr Shilpi Kondaskar 在编写这个新版时付出的关爱、理解和支持。

反馈

作者希望学生和教授能喜欢这个新版本, 本书将帮助学生解决问题, 使用建模实践锻炼其系统设计技能, 学习嵌入式硬件体系结构、接口、总线、软件编程设计和 RTOS 中的更多重要概念。

本书尽可能地给出正确信息。然而, 错误在所难免。敬请广大读者批评指正。读者们(尤其是学生、教师、学者和教授)请将对书中的内容、在线 PPT、McGraw Hill 站点中 Web 附加材料的反馈意见通过网站 <http://www.mhhe.com/kamal/emb3> 的 Query 或 Contact me 链接发送给作者。

出版社的通知

Mcgraw Hill Education(印度)恭候读者的建议和意见, 请将建议和问题发到 info.india@mheducation.com(请在主题行中提及书名和作者)。

与盗版相关的问题也可以报告。

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	2
1.1.3 嵌入式系统和通用计算系统	3
1.2 嵌入系统中的处理器	5
1.2.1 微处理器	5
1.2.2 微控制器	6
1.2.3 ARM	8
1.2.4 RISC	8
1.2.5 CISC	9
1.2.6 SoC	9
1.2.7 数字信号处理器(DSP)	9
1.2.8 专用处理器	9
1.3 系统中的嵌入式硬件单元和设备	11
1.3.1 构建块	11
1.3.2 嵌入板	16
1.4 嵌入式系统中的软件和编程语言概述	16
1.4.1 嵌入式软件 ROM 映像	16
1.4.2 用机器码编写软件	17
1.4.3 用特定于处理器的汇编语言编写软件	18
1.4.4 用高级语言编写软件	18
1.5 嵌入式系统的设计过程	20
1.6 嵌入式系统的体系结构	21
1.7 嵌入式系统的模型	22
1.8 嵌入式系统的分类	24

1.9 嵌入式系统设计者需要具备的技能	25
1.10 示例嵌入式系统	26
本章小结	28
关键词及其定义	28
复习题	32
实践练习题	33
第 2 章 嵌入式系统的设计和开发过程	35
2.1 嵌入式片上系统(SoC)和 VLSI 电路设计技术	36
2.1.1 SoC	36
2.1.2 VLSI 电路设计技术	38
2.1.3 SoC 或 VLSI 设计中使用的 ASIC	38
2.1.4 IP 核	38
2.1.5 多个处理器	39
2.2 复杂系统设计和处理器	39
2.2.1 复杂系统和微处理器	39
2.2.2 使用嵌入式处理器构建复杂系统	43
2.3 嵌入式系统的构建过程	44
2.4 嵌入式系统的设计过程	44
2.4.1 设计过程中使用的概念	44
2.4.2 软件设计过程	45
2.4.3 设计指标	46
2.4.4 设计过程中的抽象步骤	47
2.5 嵌入式系统设计中的挑战	48
2.6 嵌入式系统设计中的挑战: 优化设计指标	49

2.7 嵌入式软件开发的	
挑战和问题	51
2.8 嵌入式系统中软硬件的	
协同设计	52
2.8.1 软硬件的权衡	54
2.8.2 嵌入式系统中软硬件协同设	
计的挑战: 优化设计指标	54
2.9 嵌入式系统的设计技术	54
2.9.1 IC 技术	54
2.9.2 VLSI 技术	56
2.10 系统设计的形式化	56
2.11 设计过程和设计案例	57
2.11.1 巧克力自动售货机(ACVM)	57
2.11.2 智能卡	59
2.11.3 数码相机	62
本章小结	64
关键词及其定义	65
复习题	66
实践练习题	67

第3章 8051、AVR 和 ARM 微控制器、 现实中的接口和 I/O 总线

3.1 微控制器和微处理器简介	70
3.2 嵌入式和外部存储器设备	70
3.3 微控制器-8051 的体系结构	71
3.3.1 8051 微控制器的硬件	
体系结构	71
3.3.2 ATMEL 89x51 系列微控制器	
硬件体系结构	72
3.3.3 ATMEL 90Sxx 系列	73
3.3.4 指令集	73
3.3.5 IO 端口、电路以及 IO 编程	76
3.3.6 外部存储器接口电路	77
3.3.7 计数器和定时器	78
3.3.8 串行数据通信输入/输出	79
3.3.9 8051 中的中断	80
3.4 ATMEL AVR 微控制器	80
3.5 ARM 微控制器	82
3.6 计算机系统总线	83

3.6.1 CPU/微处理器系统总线	83
3.6.2 存储器设备接口	86
3.7 现实的接口	88
3.7.1 现实接口电路中的设备地址	88
3.7.2 I/O 设备和组件的连接	89
3.7.3 I/O: 管理数据	90
3.7.4 串行和并行 I/O	91
3.7.5 设备中断和 IO	93
3.8 I/O 性能	93
3.9 I/O 总线	94
3.9.1 总线仲裁	95
3.9.2 菊花链方式	96
3.9.3 独立总线请求方式	96
3.9.4 总线轮询方式	97
3.10 面向网络的总线仲裁	97
3.11 总线	98
3.11.1 体系结构: 单层、双层和	
多层	98
3.11.2 仲裁: 集中式和分布式	98
3.11.3 定时	99
3.11.4 总线性能	100
3.12 多级总线	100
本章小结	101
关键词及其定义	102
复习题	105
实践练习题	105

第4章 高级体系结构和处理器- 存储器的组织

4.1 处理器和存储器组织	108
4.1.1 Harvard 存储器体系结构	108
4.1.2 Von Neumann(Princeton)	
存储器体系结构	110
4.1.3 Harvard 体系结构的	
存储器接口电路	110
4.1.4 通用存储器接口电路	110
4.2 高级处理器体系结构介绍	111
4.2.1 处理器中的结构单元	112
4.2.2 高级处理器体系结构	113

4.3	处理器的组织	115
4.3.1	处理器组织方式: 处理器的 CISC 设计	115
4.3.2	处理器组织方式: 处理器的 RISC 设计	116
4.4	指令级并行性	117
4.5	INTEL x86 体系结构(8086、 80386、80486 和奔腾)	119
4.5.1	80386 的体系结构	120
4.5.2	80486 的体系结构	120
4.5.3	奔腾 P5(80586)和 P6 的 体系结构	120
4.6	ARM	120
4.7	SHARC	122
4.8	存储器类型和地址	124
4.8.1	合并存储器	124
4.8.2	嵌入式存储器	126
4.8.3	ROM 变种	126
4.8.4	RAM、SRAM 和 DRAM	128
4.8.5	闪存	129
4.8.6	闪存卡	130
4.9	存储器地址	130
4.9.1	将内存分配给程序段和块	130
4.9.2	存储器映射	130
4.10	存储器层次结构和缓存	131
4.11	性能指标	132
4.11.1	处理器的性能	133
4.11.2	存储器的性能	133
4.11.3	嵌入式系统的性能	133
4.12	处理器和存储器设备的 选择	134
4.12.1	处理器的选择	134
4.12.2	处理器或微控制器版本的 选择	134
4.12.3	微控制器版本的选择	135
	本章小结	135
	关键词及其定义	136
	复习题	138
	实践练习题	139

第 5 章	IO 设备、通信总线和分布式 联网的嵌入式体系结构	141
5.1	I/O 的类型和示例	142
5.1.1	同步串行输入	143
5.1.2	同步串行输出	144
5.1.3	同步串行输入/输出	144
5.1.4	异步串行输入	144
5.1.5	异步串行输出	145
5.1.6	半双工与全双工	145
5.1.7	串行 I/O 示例	145
5.1.8	并口	146
5.1.9	串并输出和输入	146
5.1.10	并行 IO 的示例	146
5.2	串行通信设备	147
5.2.1	串行设备的同步、准同步 和异步通信	147
5.2.2	UART 模式(协议)异步 串行通信	148
5.2.3	IBM PC COM 端口上的 串行 RS232C 通信	150
5.2.4	HDLIC 协议	151
5.2.5	同步串行数据通信的 SPI 端口	152
5.2.6	异步 UART 串行数据 通信的 SCI 端口	153
5.2.7	同步和异步串行数据 通信的串行接口(SI)	153
5.2.8	SDIO、SPI 1-SD 和 4-SD 数据通信	154
5.3	并行设备端口	155
5.3.1	与开关和小键盘连接的 并行端口	156
5.3.2	与编码器连接的并行端口	157
5.3.3	与步进电机连接的 并行端口	158
5.3.4	与 LCD 控制器连接的 并行端口	158
5.3.5	与触摸屏连接的并行端口	159
5.4	设备端口的复杂接口特性	159

5.5	无线设备	160
5.6	定时器和计数设备	160
5.6.1	定时设备	161
5.6.2	计数设备	161
5.6.3	带计数设备的定时器	161
5.6.4	两个实例之间的时间间隔	161
5.6.5	预设时间的输出动作	161
5.6.6	软件定时器	162
5.6.7	watchdog 定时器	162
5.6.8	实时时钟	162
5.7	分布式网络嵌入式系统结构	163
5.7.1	总线的优点	163
5.7.2	总线的缺点	164
5.8	串行总线通信协议	164
5.8.1	I ² C 总线	165
5.8.2	CAN 总线	166
5.8.3	USB 总线	168
5.8.4	FireWire——IEEE 1394 总线标准	169
5.8.5	先进的串行高速总线	170
5.9	并行总线设备协议——使用 ISA、PCI、PCI-X 和高级总线的并行通信网络	170
5.9.1	ISA 和 EISA 总线	171
5.9.2	PCI 和 PCI/X 总线	171
5.9.3	ARM 总线	173
5.9.4	高级并行高速总线	174
5.10	支持 Internet 的系统——网络协议	174
5.10.1	超文本传输协议(HTTP)	175
5.10.2	传输控制协议(TCP)	176
5.10.3	用户数据报协议(UDP)	176
5.10.4	Internet 协议(IP)	176
5.10.5	Ethernet(以太网)	177
5.11	无线和移动系统协议	177
5.11.1	红外数据协会(IrDA)	177
5.11.2	蓝牙	178

5.11.3	802.11	179
5.11.4	ZigBee	180
	本章小结	180
	关键词及其定义	181
	复习题	185
	实践练习题	186

第6章 设备驱动程序和中断

	服务机制	189
6.1	不使用中断服务机制的编程式 I/O 的设备访问	
	端口	189
6.1.1	Intel I/O 结构	192
6.1.2	同步	193
6.1.3	传输率	194
6.1.4	延迟	194
6.2	中断驱动的输入输出	195
6.3	ISR 的概念	196
6.4	中断源	197
6.5	硬件中断	198
6.6	软件中断	199
6.6.1	异常和异常处理程序	200
6.6.2	信号和信号处理程序	201
6.7	中断服务机制	202
6.7.1	阻止中断的溢出	202
6.7.2	禁用中断	203
6.7.3	不可屏蔽的中断和可屏蔽的中断	203
6.7.4	中断状态寄存器或中断挂起寄存器	204
6.7.5	中断向量	204
6.8	多中断	206
6.8.1	多中断调用	206
6.8.2	硬件分配的优先级	206
6.8.3	软件重写硬件优先级, 以满足服务的最后期限	207
6.8.4	启用和禁用中断, 重写硬件优先级, 以满足服务的最后期限	207

6.9 中断服务线程作为二级 中断处理程序	207	7.2.3 配置文件	227
6.10 上下文和上下文切换周期	208	7.2.4 预处理指令	227
6.11 中断延迟	210	7.3 程序元素：宏与函数	227
6.12 中断服务的最终期限	211	7.4 程序元素：数据类型、数据 结构、修饰符、语句、循环 和指针	229
6.13 从上下文保存的角度对处理 器中断服务机制的分类	211	7.4.1 数据类型	229
6.14 直接存储器访问 驱动的 I/O	212	7.4.2 修饰符的使用	230
6.14.1 DMA	212	7.4.3 指针和 NULL 指针	230
6.14.2 同一中断源生成多个快速 连续中断时的 DMA 通道 使用	212	7.4.4 使用数据结构：堆栈、队列、 数组、链表、树、管道、表 格和哈希表	230
6.14.3 DMA 控制器	212	7.4.5 堆栈	232
6.15 设备驱动程序编程	214	7.4.6 多个堆栈	232
6.15.1 编写系统中的物理设备 驱动 ISR	215	7.4.7 数组	233
6.15.2 操作系统中的设备驱动 程序组件	215	7.4.8 队列	233
6.15.3 用系统软件函数模拟 物理设备	215	7.4.9 链表	234
6.15.4 作为设备驱动和网络 函数的 Linux 内幕	216	7.4.10 循环队列	234
本章小结	217	7.4.11 优先队列	235
关键词及其定义	218	7.4.12 管道	235
复习题	220	7.4.13 表和哈希表	236
实践练习题	221	7.5 循环、无限循环以及条件 语句	237
第 7 章 编程概念及 C、C++ 和 Java 的嵌入式编程	223	7.6 函数调用	242
7.1 用汇编语言(ALP)和高级 语言 C 进行软件编程	224	7.7 按照循环顺序进行的 多函数调用	242
7.1.1 汇编语言编程	224	7.8 函数指针和函数队列	244
7.1.2 高级语言编程	224	7.9 发生中断时函数的排列和 中断服务例程队列	245
7.2 C 程序中的元素：头文件、 源文件以及预处理指令	225	7.10 嵌入式 C 和 C++：其他 功能	246
7.2.1 用于包含文件的 include 指令	226	7.10.1 编译器和优化	247
7.2.2 源文件	227	7.10.2 编程和汇编	248
		7.10.3 寄存器的使用约定	248
		7.10.4 寻址选项和指令序列的 典型用法	249
		7.10.5 过程调用和返回	250
		7.10.6 参数的传递	250
		7.10.7 检索参数	250